

THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITÉ DE NANCY I

pour obtenir le titre de

DOCTEUR-INGÉNIEUR

par

Adib RAHMÉ

SUJET :

Contribution à l'étude des propriétés physiques, mécaniques, microdensitométriques et papetières du bois de pinus brutia (ten.) de quatre stations du nord-ouest de la Syrie

Liaison entre caractéristiques et influence de divers facteurs du milieu

Soutenue publiquement le 21 Décembre 1972 devant la Commission d'Examen

Membres du Jury

Président M. F. MANGENOT
Examineurs : MM. J. GARNIER
J. VENET
H. POLGE



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41551912_0005



THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITÉ DE NANCY I

pour obtenir le titre de

DOCTEUR-INGÉNIEUR

par

Adib RAHMÉ

SUJET :

**Contribution à l'étude des propriétés physiques,
mécaniques, microdensitométriques et papetières
du bois de pinus brutia (ten.) de quatre stations
du nord-ouest de la Syrie**

Liaison entre caractéristiques et influence de divers facteurs du milieu

Soutenue publiquement le 21 Décembre 1972 devant la Commission d'Examen

Membres du Jury

Président M. F. MANGENOT

Examineurs : MM. J. GARNIER

J. VENET

H. POLGE

الى والدي ووالدتي...

الى زوجتي فاديه...

الى ابنتي سمر...

أهدي هذه الأطروحة...

à mes parents ...

à ma femme Fadia ...

à ma fille Samar ...

Avant de commencer l'exposé de mes recherches, je tiens à exprimer toute ma reconnaissance aux personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de cette étude en France ainsi qu'en Syrie.

Je remercie particulièrement Monsieur F. MANGENOT, Professeur à l'Université de NANCY 1, qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury et a facilité ma tâche.

Je présente mes remerciements à Monsieur J. GARNIER, Professeur à l'Université de NANCY 1, pour sa participation à ce jury, qu'il veuille bien trouver ici l'expression de ma sincère reconnaissance.

Je tiens à exprimer ma profonde et respectueuse gratitude à Monsieur J. VENET, Professeur à l'Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts du Centre de NANCY, qui m'a appris la science forestière, en particulier la technologie, et m'a donné très aimablement les conseils les plus précieux dans mon travail.

Que Monsieur H. POLGE, Directeur de la Station de Recherches sur la Qualité des Bois du C. N. R. F., trouve ici l'expression de ma reconnaissance et de mes remerciements les plus sincères, il a bien voulu m'accepter dans ses laboratoires et il n'a cessé de me guider avec la plus grande bienveillance.

J'exprime mon amitié et mes vifs remerciements à Monsieur NAHAL, Professeur à la Faculté d'Agronomie d'ALEP, pour tout ce qu'il a fait pour moi, ainsi que pour mon travail.

Ma profonde gratitude va aussi à Monsieur R. KELLER, Ingénieur des Eaux et des Forêts chargé de recherches au C. N. R. F., pour l'aide qu'il m'a apporté et pour ses précieux conseils et grâce à lui, j'ai pu surmonter les difficultés et aboutir dans mes recherches, ainsi qu'à Monsieur JANIN, Ingénieur E. F. P. responsable de chimie et papeterie de la Station de Recherches sur la Qualité des Bois, pour sa précieuse collaboration.

Je remercie Monsieur MILLIER, Ingénieur des Eaux et des Forêts chargé de recherches au département de Biométrie de l'I. N. R. A., pour sa collaboration dans le domaine statistique.

Je n'aurais garde d'oublier, dans mes remerciements, Monsieur GUILLARD, Directeur de l'Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts, ainsi que Monsieur DINARD et tous les membres et personnels de l'Ecole pour leur aide et pour leur bon accueil.

Que tous les membres et personnels de la Station de Recherches sur la Qualité des Bois trouvent ici l'expression de mes très vifs remerciements, j'ai souvent fait appel à leur sympathie et à leur aide.

TABLE DES MATIERES

	Page
- INTRODUCTION	
I - GENERALITE	
I.1 - <u>ASSOCIATION VEGETALE DU PINUS BRUTIA TEN.</u>	
I.1.1 - AIRE GEOGRAPHIQUE	4
I.1.2 - POSITION SYSTEMATIQUE, CARACTERES BOTANIQUES ET DENDROLOGIQUES	5
I.1.3 - CARACTERES ANATOMIQUES DES COUPES MICROSCOPIQUES	7
I.1.4 - AUTOECOLOGIE ET TYPE DE PEUPLEMENT DE PINUS BRUTIA DANS LE BAER-BASSIT	9
I.2 - <u>LE MILIEU NATUREL DES STATIONS</u>	
I.2.1 - SITUATION GEOGRAPHIQUE	11
I.2.2 - SITUATION GEOLOGIQUE	12
I.2.3 - CLIMAT	12
I.2.4 - SOL	14
I.2.4.1 - Sols formés sur périclites	14
I.2.4.2 - Sols formés sur gabbros	14
I.2.4.3 - Etude des profils de sol dans les stations	15
II - MATERIEL ET METHODES	
II.1 - <u>ECHANTILLONNAGE</u>	22
II.1.1 - ECHANTILLONNAGE DANS LA FORÊT	23
II.1.1.1 - Premier échantillonnage	23
II.1.1.2 - Deuxième échantillonnage	23
II.1.2 - ECHANTILLONNAGE A L'INTERIEUR DES PLATEAUX DU BOIS	25
II.1.3 - DIMENSION DES EPROUVETTES D'ESSAIS	26

II.2 - METHODES D'ESSAIS

II.2.1 - METHODES D'ESSAIS MECANQUES

II.2.1.1 - Flexion statique	29
II.2.1.1.1 - Mode opératoire	29
II.2.1.1.2 - Calcul du module d'élasticité en flexion statique	30
II.2.1.2 - Compression axiale	33
II.2.1.2.1 - Mode opératoire	33
II.2.1.2.2 - Calcul du module d'élasticité en compression axiale	34
II.2.1.3 - Compression de flanc (dureté)	36
II.2.1.3.1 - Mode opératoire	36

II.2.2 - METHODES D'ESSAIS PHYSIQUES

II.2.2.1 - Largeur des cernes	37
II.2.2.2 - Humidité	37
II.2.2.3 - Excentricité	38
II.2.2.4 - Teneur en résine	38
II.2.2.5 - Infradensité (densité globale)	39
II.2.2.5.1 - Mode opératoire	39
II.2.2.6 - Rétractibilité	40
II.2.2.6.1 - Mode opératoire	40

II.2.3 - METHODES D'ESSAIS DE MICRODENSITOMETRIE (RADIOGRAPHIE)	42
II.2.3.1 - Mode opératoire	43

II.2.4 - METHODES D'ESSAIS PAPETIERS

II.2.4.1 - Définition	47
II.2.4.2 - Méthode générale de microcuissons	47
II.2.4.2.1 - Matériel d'essais	47
II.2.4.2.2 - Méthodes de cuisson envisagées	48
II.2.4.3 - Détermination des conditions de cuisson de Pinus brutia suivant chaque traitement	49
II.2.4.3.1 - Description des conditions de cuisson	49

II.2.4.3.2 - Mode opératoire	51
A) Préparation de la liqueur blanche	
B) Cuisson	
C) Défibrage	
D) Détermination des indices de cuisson	
a) Dosage de la liqueur noire	
b) Détermination de l'indice de permanganate	
II.2.4.4 - Conditions de traitement choisies pour l'étude de variabilité de rendements	53
II.2.5 - METHODES D'ANALYSE STATISTIQUE DES RESULTATS	
II.2.5.1 - Corrections	54
II.2.5.2 - Corrélations	55
II.2.5.3 - Comparaison des moyennes par l'analyse de la variance	57
III - RESULTATS	59
III.1 - <u>PRESENTATION DES RESULTATS MOYENS DES ESSAIS MECANQUES, PHYSIQUES ET MICRODENSITOMETRIQUES DES STATIONS</u>	
III.1.1 - ESSAIS MECANQUES	
III.1.1.1 - Résistance à la flexion statique	60
III.1.1.2 - Résistance à la compression axiale	62
III.1.1.3 - Résistance à la compression de flanc (dureté)	63
III.1.2 - ESSAIS PHYSIQUES	
III.1.2.1 - Largeur des cernes	64
III.1.2.2 - Infradensité	64
III.1.2.3 - Rétractibilité	69
III.1.2.3.1 - Radiale	
III.1.2.3.2 - Axiale	
III.1.2.3.3 - Tangentielle	
III.1.2.3.4 - Volumétrie	

	Page
III.1.3 - ESSAIS MICRODENSITOMETRIQUES	71
III.1.3.1 - Densité maximale	71
III.1.3.2 - Densité minimale	71
III.1.3.3 - Ecart entre la moyenne des densités maximale et minimale	71
III.1.3.4 - Pourcentage de bois ayant une densité supérieure à des seuils de 500, 650, 800 g/dm ³	74
III.1.3.5 - Hétérogénéité de la densité maximale	75
III.2 - <u>PRESENTATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS MOYENS D'ESSAIS</u>	
<u>PAPETIERS</u>	
III.2.1 - RESULTATS DES CUISSONS	
III.2.1.1 - Traitement à la soude	76
III.2.1.2 - Traitement Kraft procédé au "sulfate"	76
III.2.1.3 - Interprétation des résultats	77
III.2.2 - RESULTATS DES RENDEMENTS	78
III.2.2.1 - Interprétation de la variabilité des rendements	79
III.3 - <u>RESULTATS ET INTERPRETATION DES ETUDES DE CORRELATION</u>	
III.3.1 - CORRELATION ENTRE LES VARIABLES EXPLICATIVES ET LES CARACTERISTIQUES MECANQUES	
III.3.1.1 - Définition	81
III.3.1.2 - Corrélation concernant la charge de rupture en flexion statique	82
III.3.1.3 - Corrélation concernant la charge de rupture en compression axiale	87
III.3.1.4 - Corrélation concernant la charge de rupture en compression de flanc	90
III.3.1.5 - Corrélation concernant le module d'élasticité en flexion statique	93
III.3.1.6 - Corrélation concernant le module d'élasticité en compression axiale	95
III.3.1.7 - Corrélation concernant la flèche à la rupture en flexion statique	97

III.3.2 - CORRELATION ENTRE LES VARIABLES EXPLICATIVES ET LES CARACTERES PHYSIQUES ET LE RENDEMENT PAPETIER

III.3.2.1 - Définition	99
III.3.2.2 - Corrélation concernant les retraits radiaux	100
III.3.2.3 - Corrélation concernant les retraits axiaux	103
III.3.2.4 - Corrélation concernant les retraits tangentiels	106
III.3.2.5 - Corrélation concernant les retraits volumétriques	110
III.3.2.6 - Corrélation concernant le rendement en fibres	113

III.3.3 - CORRELATIONS GENERALES ENTRE DIVERS CARACTERES

III.3.3.1 - Définition	115
III.3.3.2 - Corrélations concernant la largeur moyenne des cernes	115
III.3.3.3 - Corrélations concernant l'infradensité	119
III.3.3.4 - Corrélations concernant le rendement en fibres	120
III.3.3.5 - Corrélations concernant le pourcentage en résine	122
III.3.3.6 - Corrélations concernant l'âge des arbres	123
III.3.3.7 - Corrélations concernant la hauteur des arbres	127
III.3.3.8 - Corrélations concernant le diamètre des arbres	129
III.3.3.9 - Corrélations concernant la pente du terrain	131
III.3.3.10- Corrélations concernant la hauteur du prélèvement	134
III.3.3.11- Corrélations concernant l'excentricité du bois	137

III.4 - RESULTATS ET INTERPRETATION DE L'INFLUENCE DE CERTAINS FACTEURS CONTROLES DU MILIEU SUR LA QUALITE DU BOIS AU MOYEN DE COMPARAISONS DE MOYENNES PAR ANALYSE DE VARIANCE

III.4.1 - DEFINITION	142
III.4.2 - INFLUENCE DU FACTEUR ORIENTEMENT	144
III.4.3 - INFLUENCE DU FACTEUR ROCHE-MERE SUR :	150
III.4.3.1 - Les caractéristiques physiques	150
III.4.3.2 - Les caractéristiques mécaniques	152
III.4.3.3 - Les caractéristiques microdensitométriques	152

	Page
III.4.4 - INFLUENCE DU FACTEUR ALTITUDE SUR :	154
III.4.4.1 - Les caractéristiques physiques	155
III.4.4.2 - Les caractéristiques mécaniques	157
III.4.4.3 - Les caractéristiques microdensitométriques	158
III.4.5 - INFLUENCE DU FACTEUR "POSITION INTERNE" SUR :	161
III.4.5.1 - Les caractéristiques physiques	161
III.4.5.2 - Les caractéristiques mécaniques	164
III.4.5.3 - Les caractéristiques microdensitométriques	167
III.4.6 - INFLUENCE DU FACTEUR "STATION" SUR :	170
III.4.6.1 - Définition	170
III.4.6.2 - Les caractéristiques physiques	173
III.4.6.3 - Les caractéristiques mécaniques	176
III.4.6.4 - Les caractéristiques microdensitométriques	178
IV - CONCLUSION	181
ANNEXE	190
BIBLIOGRAPHIE	

INTRODUCTION

Le *Pinus brutia* Ten. est l'essence forestière la plus importante dans les forêts syriennes où il recouvre environ 70 000 hectares, ce qui est remarquable ; il constitue, dans la région Baer-Bassit surtout, les réserves de bois les plus importantes en Syrie, grâce à son excellente adaptation aux conditions climatiques et édaphiques locales. Il occupe en plus une place éminente dans le reboisement en Syrie avec *Pinus halepensis* Mill mais l'ensemble des forêts souffre malheureusement de l'absence d'une sylviculture appropriée et d'un aménagement convenable ; d'un autre côté, l'exploitation forestière est sans orientation et, de plus, l'utilisation du bois est limitée par l'ignorance absolue de ses caractéristiques.

Pour préparer un programme d'aménagement convenable, ainsi que pour élaborer une sylviculture appropriée, il est nécessaire d'étudier, d'une part, la végétation et, d'autre part, la technologie du bois et son évolution sous l'influence des facteurs du milieu.

La végétation a été largement étudiée par NAHAL (1962a) mais l'étude technologique du bois au point de vue des propriétés physiques, mécaniques et papetières, et des relations entre ces caractéristiques et les facteurs du milieu est entreprise pour la première fois en Syrie, avec le présent travail.

Quant aux autres pays où *Pinus brutia* existe, on trouve peu d'ouvrages concernant sa technologie ; en Turquie, BERKEL A. (1957) a étudié certaines caractéristiques physiques et mécaniques du bois de *Pinus brutia* aux côtés de BAHKEIR.

L'existence de plusieurs types de roches-mères dans la zone de *Pinus brutia* conduit à la formation de plusieurs types de sols, en fonction de l'altitude et des différences dans les conditions climatiques ; par conséquent, *Pinus brutia* y constitue des types de peuplements variés.

Nous avons choisi quatre stations (A, B, C, D) de façon qu'elles représentent autant que possible les variations des conditions climatiques que nous avons pu constater, certaines caractéristiques de la qualité du bois pouvant être susceptibles de varier en fonction de celles-ci.

Les stations ont été partagées suivant deux groupes de roches-mères : les péridotites et les gabbros sur deux altitudes différentes : 200 à 250 m et 550 à 600 m, dans lesquelles Pinus brutia est dominant et relativement vigoureux.

Les objectifs de ce travail sont les suivants :

Déterminer les qualités mécaniques, physiques et la valeur papetière du bois, en particulier faire ressortir les variations de la densité. D'une part, les courbes densitométriques peuvent être utilisées comme indicatrices commodes des changements qui se produisent dans l'équilibre physiologique de l'arbre, par exemple en fonction du climat. D'autre part, la méthode même présente beaucoup d'avantages pour l'étude de la qualité du bois : obtention très rapide des échantillons, ce qui permet d'analyser un très grand nombre d'arbres ou un très grand nombre d'échantillons d'un arbre donné, et conditionnement très rapide des échantillons à un taux d'humidité déterminé. De plus, les carottes radiales, passant par la moelle, renferment tous les accroissements annuels successifs.

Mettre évidence, grâce à l'étude statistique des corrélations, certaines liaisons pratiques, d'une part, entre les caractéristiques morphologiques des arbres et la qualité de leur bois, d'autre part, entre certaines caractéristiques physiques, considérées comme des variables explicatives, et d'autres caractéristiques physiques, mécaniques et le rendement papetier, considérés comme des variables à expliquer.

Etudier surtout, grâce à l'analyse statistique de la variance et aux comparaisons de moyennes, l'influence de certains facteurs du milieu sur la qualité du bois.

Les résultats que nous présentons ici sont le fruit de nos recherches, faites de 1969 à 1972, entreprises au laboratoire de Technologie de l'Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts, et poursuivies à la Station de Recherches sur la Qualité des Bois du Centre National de Recherches Forestières.

I - GENERALITES

I.1 - ASSOCIATION VEGETALE DU PINUS BRUTIA TEN.

I.1.1 - Aire géographique

Le *Pinus Brutia* Ten. est une essence méditerranéenne typique qui forme de beaux peuplements disséminés.

Son aire géographique est limitée par :

- la Mer Noire au nord-est,
- le sud du Liban, qui est la limite la plus méridionale,
- et l'Afghanistan occidental en est la limite la plus asiatique

(NAHAL - 1962 a).

Dans certains pays de cette aire, l'importance du *Pin Brutia* est variable, la tache la plus étendue étant en Turquie, sur le littoral des Mers Noire, Méditerranée, de Marmara et Egée.

On le trouve également :

- dans les montagnes de Turquie (Taurus et Amanus),
- en Grèce (Thrace, Crète, Rhodes, etc...), où il monte jusqu'à 1 800 m,
- dans les montagnes du Liban,
- et à Chypre, où il est fréquemment rencontré jusqu'à 1 600 m d'altitude.

Dans d'autres pays, il existe quelques petites forêts isolées : en Iran, en Irak, en Afghanistan et dans le sud de l'U. R. S. S. (par exemple, en Géorgie).

En Syrie, le *Pin Brutia* est considéré comme l'essence la plus importante. De vastes étendues sont occupées par de belles forêts de cette espèce. On le trouve surtout dans les régions côtières de Baer-Bassit, de Cassius et de Djebel Alouite ; à l'intérieur, on le rencontre en petits îlots dégradés, où il constitue des forêts de second ordre dans le Djebel Akrrad (Kurd Dag) (NAHAL - 1962 a et 1965)

I.1.2 - Position systématique, caractères botaniques et dendrologiques

Le Pin Brutia fait partie du groupe "Halepensis" de la section des Halepensoïdes et du sous-genre Eupinus du genre Pinus de la famille des Pinacées (Abietacées).

Il a été décrit pour la première fois par TENORE (botaniste napolitain) en 1811 ; il a été souvent confondu avec le Pin d'Alep (Pinus halepensis Mill.) ou considéré comme une variété de celui-ci (P. halepensis Var. brutia - ELWES et HENRY 1910) ; certains botanistes lui ont même donné des noms différents comme P. Pyrenaïca Lap., P. Pallassii Parol, P. Paroliniana Webb, P. Parolinii Viu, P. Hispanica Cook, etc...

Or, le Pin Brutia et le Pin d'Alep sont bien distincts biologiquement, anatomiquement et morphologiquement et, selon NAHAL (1962), tous les botanistes et dendrologues modernes sont d'accord à ce sujet (KAYAEIK - 1954, THIEBAUT - 1954, ROULOUMOUY, MOUTERDE, PARDE, M. SELIK - 1959, EMBERGER - 1960, GAUSSEN - 1969).

Le Pinus Brutia se distingue botaniquement par les caractères suivants (NAHAL 1962a) :

- hauteur pouvant atteindre 30 à 35 m,
- fût bien droit dans les stations à sol fertile,
- cime régulière, dense, conique, mais devenant tabulaire chez les sujets âgés,
- écorce très épaisse et précocement fissurée à la base du tronc,
- feuilles qui sont par deux, de couleur vert foncé, non groupées en pinceaux à l'extrémité des rameaux et mesurant 12 à 18 cm de long et plus de 1 mm de large,
- fleurs de couleur orangée, unisexuées, monoïques, dont les mâles forment des touffes de 1,2 cm de long,
- cônes ovales, de 5 à 11 cm de long, dirigés vers le haut ou perpendiculaires aux rameaux,
- écailles à rayures étoilées, mesurant jusqu'à 2 cm de large, à ombilic gros, presque plat ou concave,
- graines ailées (20 000 graines au kg)

alors que chez le Pin d'Alep

- la hauteur est de 20 à 25 m,
- le fût est un peu déformé,
- l'écorce à la base du tronc est presque lisse pendant assez longtemps,

- les feuilles sont vert-jaunâtre , groupées généralement en pin-
ceaux, lisses, mesurant 5 à 10 cm de long et 1 mm de large maximum,
- les cônes ont 8 à 12 cm de long et sont dirigés vers le bas,
- les écailles ont des ombilics convexes,
- et les graines ont des ailes plus longues (50 000 graines au kg
environ).

I.1.3 - CARACTERES ANATOMIQUES DU BOIS DE PINUS BRUTIA

a) Dans le plan transversal

Généralement, la limite entre le bois final (bois d'été) et le bois initial (bois de printemps) de l'année suivante est très nette et les zones d'accroissements successives sont très distinctes les unes des autres, même à l'oeil nu (voir les photos de la planche n° 1).

La largeur du bois final est relativement élevée, surtout dans le bois de basse altitude de la région de Baer-Bassit.

Les canaux résinifères verticaux se localisent juste à la limite entre le bois initial et le bois final, et dans le bois final ; cependant, dans le bois de compression, ou dans le bois à accroissements très larges, ils peuvent se trouver dans le bois initial.

Le diamètre moyen des trachéides verticales du bois initial est de 37 microns, du bois final de 20 microns, dans les bois à accroissements fins ou moyens ; dans ceux à accroissements larges, les valeurs correspondantes sont de 42 microns, et de 20 microns respectivement ; le diamètre moyen des canaux résinifères verticaux, dans lesquels les cellules bordantes sécrétrices sont à parois minces, est de 75 microns dans le bois à accroissements moyens, et de 100 microns dans le bois à accroissements larges.

b) Dans le plan radial

Sur les parois radiales des trachéides verticales, les ponctuations aréolées sont unisériées homogènes ; elles sont plus grandes dans le bois de printemps que dans le bois d'été ; leur diamètre moyen est respectivement de 22 et 12 microns dans le bois à accroissements moyens, et de 25 et 12 microns dans le bois à accroissements relativement larges (voir les photos de la planche n° 1).

Les rayons ligneux sont hétérogènes et relativement nombreux ; ils ont des trachéides horizontales à parois minces, denticulées avec des ponctuations aréolées plus petites que celles des trachéides verticales ; leur diamètre moyen est de 9 microns environ ; les parenchymes des rayons ligneux ont des parois assez épaisses, ornées de ponctuations simples ; elles sont au nombre de 1 à 4, et quelquefois 5 dans le champ de croisement de type pinoïde et quelquefois cupressoïde.

c) Dans le plan tangentiel

Les cellules des rayons ligneux sont unisériées de 2 à 17, et quelquefois plus ; leur diamètre moyen est de 20 microns dans le bois à accroissements moyens et de 23 microns dans le bois à accroissements larges ; les cellules des rayons renfermant des canaux résinifères verticaux sont plus nombreuses et ne sont pas exactement unisériées (voir les photos de la planche n° 1).

...

I.1.4 - Autoécologie et types de peuplements de *Pinus brutia* dans le Baer-Bassit

Le *Pinus brutia* est une essence de lumière ; ses semis se développent bien en plein découvert ou quelquefois aussi sous un léger abri le protégeant de la dessiccation ; il résiste bien aux basses températures (de - 15 à - 18 C°). On le trouve sur des roches très variées : calcaires ou siliceuses ; il est indifférent à la composition chimique du sol ; par contre, il est sensible à leur structure physique : la régénération naturelle devient parfois difficile sur les sols trop filtrants, surtout en période estivale. Le *Pinus brutia* se rencontre dans les régions où l'altitude varie de 0 à 900 m.

Le climat défavorable à la régénération, le feu, les traitements nuisibles de l'homme, l'absence d'entretien et d'aménagement sont cause de la dégradation des peuplements de *Pinus brutia* qui devinrent souvent hétérogènes dans certaines régions de Syrie.

Parfois, on trouve, dans une même station, des arbres de qualités différentes alors qu'ils poussent sur le même sol, ont le même âge et subissent le même traitement. Ces peuplements hétérogènes occupent malheureusement une superficie assez importante, ce qui permet de penser qu'il s'agit là d'une tendance naturelle sans doute héréditaire (NAHAL - 1962a), c'est-à-dire qu'on peut considérer qu'il existe une transmission de ces qualités des arbres-mères à leurs descendants. Dans certaines stations (Froulok, Karankoul, etc...), on rencontre quand même de beaux peuplements de *Pinus brutia* au fût droit, conique et sans noeuds, peu branchus, à cime conique et en flèche, à croissance assez rapide avec un sous-étage bien développé. C'est ce que l'on appelle un "peuplement d'élite" (NAHAL - 1962a). Ces peuplements doivent être spécialement traités en vue de la fructification afin de récolter les graines nécessaires aux reboisements.

En conséquence, on peut finalement répartir les types de peuplements de *Pinus brutia* du nord-ouest de la Syrie (Baer-Bassit) en trois catégories, selon NAHAL (1962a) :

a) Futaie pure régulière : peu répandue mais pas très rare, elle existe à Froulok, Karankoul, Kastal Ma'af, Chaukrane ; la régénération naturelle y est facile et les incendies relativement peu fréquents. Les peuplements d'élite se trouvent dans cette catégorie. Dans la station expérimentale n° 3, se rencontre ce type de peuplement mais de moins bonne qualité.

b) Futaie pure jardinée : ce type de peuplement est le plus répandu dans le Baer-Bassit. Ce sont, en effet, des peuplements irréguliers, hétérogènes à cause des dégâts d'incendies et des hommes. On y trouve des arbres de 1 à 150 ans qui n'ont jamais été soumis à un aménagement convenable et, comme nous l'avons déjà indiqué, leur hétérogénéité semble héréditaire. La station expérimentale n° 1 se trouve dans ce type de peuplement.

c) Peuplements mélangés : étant donné le pouvoir de colonisation de *Pinus brutia* vis à vis des autres associations, on le trouve bien installé avec le *Quercus pseudocerris*, le *Quercus calliprinos* et le *Pistacia palastina*, formant des peuplements mélangés. Les stations n° 2 et 4 se trouvent dans ce type de peuplement.

...

I.2 - LE MILIEU NATUREL DES STATIONS

I.2.1 - Situation géographique

Les quatre stations choisies sont entièrement situées dans les deux districts du Baer et du Bassit. Ces deux districts constituent la région du Baer-Bassit, bien connue, de basses montagnes, située à 35,33 Lat. N et 33,45 Long. E dans le nord-ouest de la Syrie.

Le district Bassit s'étend de la mer jusqu'à la route Lattaquié-Antioche à l'intérieur, où commence le district Baer ; il arrive jusqu'à 1 000 m d'altitude environ, en limite de la frontière de Turquie.

La position exacte des quatre stations choisies est résumée dans le tableau n° 1 suivant :

N° station	Localité	District	Altitude	Exposition	Roche-mère	Pente	Hauteur moyenne (m)	Diamètre moyen (cm)	Age moyen (années)
(1) A	Route de Bassit (Djebel Eskandar) à 5 km de la mer	Bassit	200 m	W - SE	Groupe des gabbros	5 - 10 %	13	24	49
(2) B	Carrefour Karankoul (Kawameih) à 8-9 km de la mer	Baer	550 m	W - SE ^x	G. gabbros	30 - 45 %	14	25	30
(3) C	Kastal Ma'af (route de Lattaquié)	Bassit	250 m	NE - SE	G. péridotite (Serpentine)	5 - 25 %	15	25	39
(4) D	Kouz Al Baer (Froulok)	Baer	600 m	W - NE	G. péridotite (Serpentine)	0 - 5 %	15	30	58

x la station présente de petits versants.

I.2.2 - Situation géologique

Le Baer-Bassit est une région particulière, désignée par les géologues sous le nom de "pays des roches vertes". Elle est constituée principalement de deux groupes de roches éruptives : le premier est le groupe des péridotites pyroxéniques (serpentine), le deuxième, celui des gabbros, diorites et dolérites ; ces roches font partie d'un seul corps éruptif (NAHAL - 1969).

Ces roches vertes sont basiques ou très basiques, très riches en magnésie (45 % de MgO chez certaines péridotites pyroxéniques).

Le tableau n° 2 présente l'analyse chimique de ces deux groupes (DUBERTRET - 1953)

Groupe de roche	Minéraux constitutifs	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	MgO %	Fe ₂ O ₃ %	FeO %	CaO %	Na ₂ O
Péridotite pyroxénique (serpentine)	olivine augite diabase	38 - 45	0,3 - 8,5	27 - 45	0,70 - 5	2,35 4,75	faible	très faible
Gabbros diorites dolérite	olivine augite diabase feldspaths calciques et sodiques	45 - 52	12,5 31,4	12,5 31,4	7 17	0,5 2,7	7 18	0,15 3,55

Très souvent, les péridotites pyroxéniques se présentent dans cette région sous une forme plus ou moins altérée en serpentines ($H_4 Mg_3 Si_2 O_9$) de couleur verte, ce qui leur donne le nom courant de "Serpentine".

I.2.3 - Climat

Le climat dominant dans la région de Baer-Bassit est le climat méditerranéen qui se caractérise par une saison estivale très sèche et par des pluviosités maximales pendant la saison froide et relativement froide.

Pour définir exactement le climat dans les stations étudiées, nous avons choisi les deux stations météorologiques les plus proches de nos quatre stations d'expérience*.

1°) la station météorologique de Min-El-Beida qui est à quelques kilomètres de la station A,

2°) la station météorologique de Kastal-Ma'af qui est à quelques kilomètres des stations A, B et un peu plus loin de la station n° IV dont l'altitude est un peu supérieure aux autres.

Nous avons calculé pour les deux stations météorologiques :

- M = la moyenne des maxima du mois le plus chaud en °C,
m = la moyenne des minima du mois le plus froid en °C,
P = la précipitation annuelle et la précipitation saisonnière (hiver, printemps, automne, été),
Q = le quotient pluviothermique d'EMBERGER qui a été calculé d'après la formule
- $$Q = \frac{2\,000\,P}{M^2 - m^2}$$
- (M et m sont calculées à partir du zéro absolu.)

Le tableau n° 3 présente les indications bioclimatiques nécessaires pour la zone étudiée.

Station météorologique	Altitude (m)	Pluviosité saisonnière en mm				Pluviosité annuelle	M °C	m °C	M - m °C	Q
		Hiver	Printemps	Automne	Eté					
Min-El-Beida	8	491,3	163,8	203,7	21,1	879,9	31,1	8,4	22,7	132
Kastal-Ma'af	400	615,0	299,4	230,1	22,6	1 167,1	29,0	5,6	23,4	171

D'après le classement d'EMBERGER, nos stations expérimentales se trouvent dans les étages bioclimatiques suivants :

- Station A : à la limite de l'étage méditerranéen humide chaud et sub-humide chaud,
Station B : dans l'étage méditerranéen humide tempéré,
Station C : " " " "
Station D : dans l'étage méditerranéen humide tempéré à froid.

* Voir tableau n° 1 concernant la position géographique des stations d'expérience.

I.2.4 - Sol

La décomposition des roches vertes (péridotite, gabbros), sous climat presque identique, donne généralement naissance à deux types de sol qui sont en équilibre avec la végétation, formant sous celle-ci des sols climax du type "sol brun méditerranéen" (NAHAL - 1962) plus ou moins évolués et lessivés en fonction de l'augmentation de la pluviosité.

I.2.4.1 - Sols formés sur péridotites pyroxéniques (serpentes) :

Dans la région de Baer-Bassit, les sols portant la forêt de *Pinus Brutia* sont souvent des sols jeunes à cause de l'érosion provoquée par plusieurs facteurs : pente, incendies, éclaircies, etc... Ils ont généralement une faible profondeur résultant de la dureté de la roche-mère elle-même, d'où l'état de sécheresse édaphique très marquée.

Ces sols présentent un caractère particulier : c'est leur richesse en magnésium. Mais ils sont pauvres en bases (CaO , Na_2O).

I.2.4.2 - Sols formés sur gabbros, diorites et dolérites :

Ces sols se distinguent des sols formés de péridotites parce qu'ils sont moins riches en magnésium mais, par contre, plus riches en bases (CaO , Na_2O) et sont plus profonds en raison de leur facilité d'altération. Ils sont encore plus humides et fertiles, ce qui favorise les peuplements de *Quercus pseudocerris* Boiss. qui sont dominés par le peuplement de *Pinus Brutia* (entre 400 et 900 m d'altitude).

Nous avons fait des prélèvements de sols au cours de l'échantillonnage dans la forêt (un prélèvement dans chaque station choisie), soit deux prélèvements sur chaque type de sol avec deux altitudes différentes, afin de connaître le degré d'évolution de chaque sol en rapport avec l'altitude et le climat.

Après avoir fait les descriptions de profils, nous avons confié celles-ci au Laboratoire de la Station de Recherches sur les Sols Forestiers du C. N. R. F. pour faire leur analyse chimique et granulométrique.

I.2.4.3 - Etude des profils de sols dans les stations

Description du profil 1

Station : A - route de Bassit Djebel Eskandar ;

Altitude : 200 m ;

Pluviosité : 830 mm ;

Exposition : nord-est ;

Pente : 5 % ;

Végétation : peuplement clair de *Pinus Brutia* un peu dégradé.

Horizon :

2 - 0 horizon formé d'aiguilles mortes de *Pinus Brutia*, plus ou moins décomposées ;

0 - 1 horizon minéral de couleur olive grisâtre (5 γ 4/2), riche en matières organiques et en chevelu radiculaire ; structure en petits grumeaux (pH = 7,5) ;

1 - 10 horizon minéral de couleur olive (5 γ 5/3), pauvre en matières organiques contenant des graines de gabbros en voie de décomposition, dépourvu de CO₃ Ca/pH = 7,0 ;

10 - + roche-mère plus ou moins décomposée, présentant de petits blocs très friables (pH 7,5) ;

- gabbros, diorites, dolorites.

...

Description du profil 2

Station : B - carrefour Karankoul (Kawameih) ;

Altitude : 550 m ;

Exposition : sud-ouest ;

Pluviosité : 1 170 mm ;

Pente : 10 % ;

Végétation : peuplement assez dense et vigoureux de *Pinus Brutia* avec sous-étage de *Quercus pseudocerris*.

Horizon :

5 - 0 débris organiques formés d'aiguilles de *Pinus Brutia* et des feuilles de *Quercus pseudocerris* bien décomposées ;

0 - 3 horizon minéral de structure en petits grumeaux, de couleur olive (5 γ 4/2), riche en matières organiques et en chevelu radiculaire, dépourvu de CO_3 Ca pH = 7,0 ;

3 - (50-80) horizon minéral de couleur olive grisâtre (5 γ 5/2), riche en racines 20 %, dépourvu de CO_3 Ca, pauvre en matières organiques. Il présente de petits fragments de la roche-mère (1-2 %) pH = 6,5-7 ;

(50-80 et plus) : roche-mère plus ou moins décomposée, largement pénétrée par les racines ;

- Diorite, gabbros, dolérite.

Roche mère	0 - 1	1 - 10	10 -	horizon Analyse	0 - 3	3 - (5 - 80)	Roche mère
Gabbros, Diorites, Dolorites - Profil n° 1 (station A)	12,04	2,61	0,32	% Mat. org.	5,43	0,58	Gabbros, Diorites, Dolorites - Profil n° 2 (station B)
	7,0	1,52	0,19	% C %	3,16	0,34	
	0,271	0,050	0,008	% N %	0,131	0,014	
	25,83	30,40	23,75	C/N	24,12	24,28	
	7,3	7,3	7,2	Ph	7,2	6,9	
	-	-	-	Ca I	-	8,1	
	0,70	0,28	0,05	K	0,39	0,04	
	10,6	16,9	11,8	Mg	3,24	1,07	
	36,2	44,8	21,0	T	20,4	8,8	
	6,8	7,5	3,5	105°C H ₂ O	2,3	1,4	
	9,4	3,7	2,5	Argile %	5,3	4,5	
	18,5	11,4	4,7	Limons fins %	16,9	16,0	
	14,0	11,8	5,3	Limons grossiers %	21,0	20,9	
	21,6	34,9	21,1	Sables fins %	31,3	34,9	
	18,5	25,7	60,9	Sables grossiers %	11,6	15,1	
	traces	traces	traces	% CO ₃ Ca total	traces	-	
	-	-	-	% CO ₃ Ca actif	-	-	
	0,50	0,46	0,17	% Fer libre %	0,09	0,05	

Tableau n° 4

Le tableau d'analyse chimique et granulométrique n° 4 des profils 1 et 2 et leurs description, nous permettent de distinguer les propriétés différentes principales :

Le sol du premier profil est plus jeune et moins évolué que le deuxième, sa texture, de type équilibrée, légère (limon sableux) en surface, sera plus sableux en profondeur tandis que sa capacité d'échange est plus élevée, surtout en magnésium ; ce sol est très riche en matières organiques et un peu plus basique que le deuxième.

...

Celui-ci est plus profond, plus évolué, sa capacité d'échange est moins importante. Ce sol présente la même texture mais il est moins riche en matières organiques malgré la grande épaisseur de couche des feuilles mortes ; ceci s'explique par la faiblesse d'altération de ces feuilles en raison d'une température relativement plus basse.

...

Description du profil 3

Station : C - Kastal Ma'af (Baër) ;
Exposition : sud-est ;
Altitude : 250 m ;
Pluviosité : 1 000 mm ;
Pente : 5-7 % ;
Végétation : peuplement assez dense de *Pinus Brutia*.

Horizon :

4 - 0 débris organiques formés d'aiguilles mortes de *Pinus Brutia* qui sont plus ou moins décomposées ;

0- 3 horizon minéral de couleur brun-grisâtre très foncée (10 γ R 3/2), riche en matières organiques, structure en grumeaux, dépourvu de CO₃ Ca, riche en chevelu radiculaire, riche en fragments de roche-mère pH = 8,0 ;

3 - 5 horizon très riche en fragments de roche-mère en structure polyédrique ; contient 5 % de chevelu radiculaire, effervescence très faible avec HCl (faible teneur en CO₃ Ca) ;

25 - Péridotite pyroxénique serpentinisée.

...

Description du profil 4

Station : D - Kouze Al Baër ;

Exposition : néant ;

Altitude : 600 m ;

Pluviosité : 1 250 mm ;

Pente : 5 % ;

Végétation : peuplement vigoureux et peu clair de *Pinus Brutia* en mélange avec *Quercus pseudocerris*.

Horizon :

2 - 0 débris organiques formés des feuilles de *Quercus pseudocerris* et des aiguilles de *Pinus Brutia* plus ou moins décomposées ;

0 - 15 horizon minéral de couleur brun foncé (7,5 γ R 3/2), riche en matières organiques et en petits fragments de roche-mère, structure en grumeaux, dépourvu de $\text{CO}_3 \text{ Ca}$, pH = 7,5 ;

15 - Roche-mère en décomposition sous forme de petits blocs plus ou moins altérés ;

- péridotite pyroxénique serpentinisée.

...

Roche- mère	0 - 3	3 - 25	Horizon		Roche- mère
			Analyse	1 - 15	
Péridotite pyroxénique serpentinisée Profil n° 3 (station C)	10,11	2,06	Mat. organ. %	3,26	Péridotite pyroxénique serpentinisée Profil n° 4 (station D)
	5,38	1,20	C %	1,90	
	0,288	0,067	N %	0,123	
	20,41	17,91	C/N %	15,44	
	7,6	7,9	PH	7,6	
	-	-	Ca	-	
	1,00	0,55	K	0,29	
	11,2	7,4	Mg	30,0	
	42,8	26,0	T	35,0	
	6,6	4,2	H ₂ O 105 C°	8,4	
	24,6	21,8	Argile %	27,1	
	14,9	11,9	Limon fin %	16,2	
	8,2	7,2	Limon grossier %	9,6	
	12,3	14,4	Sables fins %	7,7	
	25,6	39,0	Sables grossiers %	29,5	
	0,5	2,2	CO ₃ Ca totale %	0,4	
	0,25	0,24	Fer libre %	3,08	

Tableau n° 5

D'après les analyses chimiques et granulométriques, qui sont reportées sur le tableau n° 5, et les descriptions des profils, nous pouvons constater leurs différentes propriétés :

Ils ont la même texture, qui est de type équilibré, moyenne (limon argilo-sableux) et présentent le même pH. Ce sont des sols saturés et leur capacité d'échange est assez élevée.

Le premier sol contient plus de matières organiques et un peu plus de carbonate de calcium CO₃ Ca (ce qui ne vient pas de l'altération de la roche-mère elle-même).

Tandis que le deuxième est plus riche en magnésium et en fer libre.

II - MATERIEL ET METHODES

II.1 - E C H A N T I L L O N N A G E

II.1.1 - ECHANTILLONNAGE DANS LA FORÊT

Les échantillonnages ont été faits au cours du mois de Mai 1970 dans la forêt de *Pinus Brutia* de la région de Baer-Bassit, en Syrie.

Nous avons choisi 28 arbres dans les quatre stations déjà décrites (tableau 1), soit 7 arbres pour chacune. Ils ont été pris parmi les arbres sains, en général sans défaut. Ils représentent, aussi fidèlement que possible, la population naturelle de cette forêt, afin de satisfaire notre but de recherche : la relation entre les qualités du bois et le milieu naturel.

Nous disposons des renseignements concernant la pente, le versant, le diamètre et la hauteur des billons débités pour les essais, qui sont donnés dans le tableau n° 6. Les autres renseignements (altitude, pluviosité, etc...), identiques pour chacun des sept arbres d'une même station, sont déjà donnés dans la première partie relative aux généralités.

Ces arbres ont été l'objet de deux types d'échantillonnage dans la forêt :

II.1.1.1 - Premier échantillonnage

Sur chaque arbre, nous avons pris quatre carottes de sondage à l'aide d'une tarière de Pressler, à 130-150 cm de hauteur, tirées perpendiculairement au fil du bois, une pour chaque orientation nord, sud, est, ouest.

Ces carottes étaient destinées aux études "non destructives" : micro-densitométrie, infra-densité, pourcentage de résine et rendement en pâte à papier.

II.1.1.2 - Deuxième échantillonnage

Après les prélèvements des carottes de sondage, les arbres ont été abattus et nous avons tiré, de chacun d'eux, un billon de 40 cm de longueur à des hauteurs variables (voir tableau 6), pour éviter les parties endommagées et déformées des arbres. Ces billons ont été transportés à Alep et sciés de manière à nous permettre d'obtenir des plateaux longitudinaux ;

les billons ont été transportés en France pour y subir les essais "destructifs" : essais mécaniques, physiques. Des études microdensitométriques ont été également entreprises sur les échantillons provenant des parties laissées intactes par les essais mécaniques.

n° station	n° arbre	Diamètre cm	Versant	Pente en degré	Hauteur du prélèvement cm	Age an	Hauteur m
(1) A	1	23	W	5	50	46	10
	2	22	S-W	5	90	52	14
	3	32	S-E	6	100	53	13,5
	4	22	S	5,5	120	53	13,5
	5	27	S-W	11	130	52	14
	6	23	-	2	65	42	16,5
	7	25	-	2	170	33	14
(2) B	8	26	W	30	120	31	16
	9	27	N	35	120	50	15
	10	25	S	50	30	27	14
	11	35	S-E	5	160	31	14
	12	22	S	35	220	26	16
	13	22	S-E	35	120	26	15
	14	22	N-E	30	130	20	14
(3) C	15	22	E	15	100	36	14
	16	27	E	7	125	40	16
	17	27	S-E	3	130	44	16,5
	18	32	-	-	200	40	17
	19	26	S-E	5	80	39	16,5
	20	27	N-E	27	100	37	16
	21	20	S-E	5	80	37	13,5
(4) D	22	25	-	2,5	130	49	16
	23	33	-	3	130	51	18,5
	24	31	-	1	200	53	16
	25	34	W	5	90	72	15
	26	25	N-W	20	150	37	13
	27	36	N-E	23	130	50	18
	28	27	-	3	120	46	14

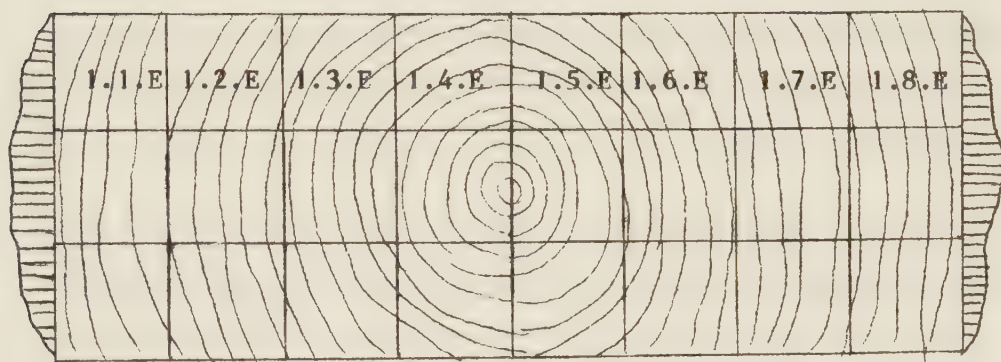
Tableau n° 6
Renseignements relatifs aux billons

II.1.2 - ECHANTILLONNAGE A L'INTERIEUR DES PLATEAUX DU BOIS

Les plateaux ont été stockés à l'air, après leur arrivée au laboratoire, pendant deux mois, ce qui a permis à l'humidité du bois de tomber aux environs de 12 à 18 % (VENET - 1958). Ils ont été découpés en éprouvettes de 2 x 2 x 45 cm qui ont été rassemblées et numérotées.

Chaque éprouvette porte trois numéros : le premier représente l'arbre, le deuxième l'éprouvette dans le plateau et le troisième la position de l'éprouvette par rapport au coeur (rayon).

La figure n° 1 représente le mode de numérotation.



- I : éprouvettes très proches du coeur, 0-30 % de rayon
- II : éprouvettes entre écorce et coeur, 35-60 % de rayon
- III : éprouvettes très proches de l'écorce, 65-100 % de rayon.

Nous avons supprimé toutes les éprouvettes qui présentaient des défauts, tels que les noeuds ou autres altérations (galeries formées par les insectes pendant le stockage), qui risquaient de conduire à de faux résultats.

Toutes les éprouvettes ont été entreposées dans une pièce pendant un mois avant les essais. Le degré d'humidité mesuré sur chaque éprouvette au cours des essais mécaniques était de l'ordre de 9 à 11 % environ. Les résultats

des essais sont corrigés par ordinateur, à partir de calculs de corrélation entre les caractéristiques mesurées et les degrés d'humidité de chaque éprouvette.

II.1.3 - DIMENSIONS DES EPROUVETTES D'ESSAIS

Les principales dimensions des éprouvettes d'essais sont celles fixées par la Norme Française (A.F.NOR), NF-B-51.003 relative aux essais mécaniques (flexion statique, compression axiale et compression de flanc) et de rétractibilité (physique).

Les dimensions des éprouvettes d'essais microdensitométriques, de mesure de la densité et des essais papetiers ont été décrites dans les publications de la Station de Recherches sur la Qualité des Bois (KELLER 1968).

Les éprouvettes ont été débitées successivement en plusieurs étapes :

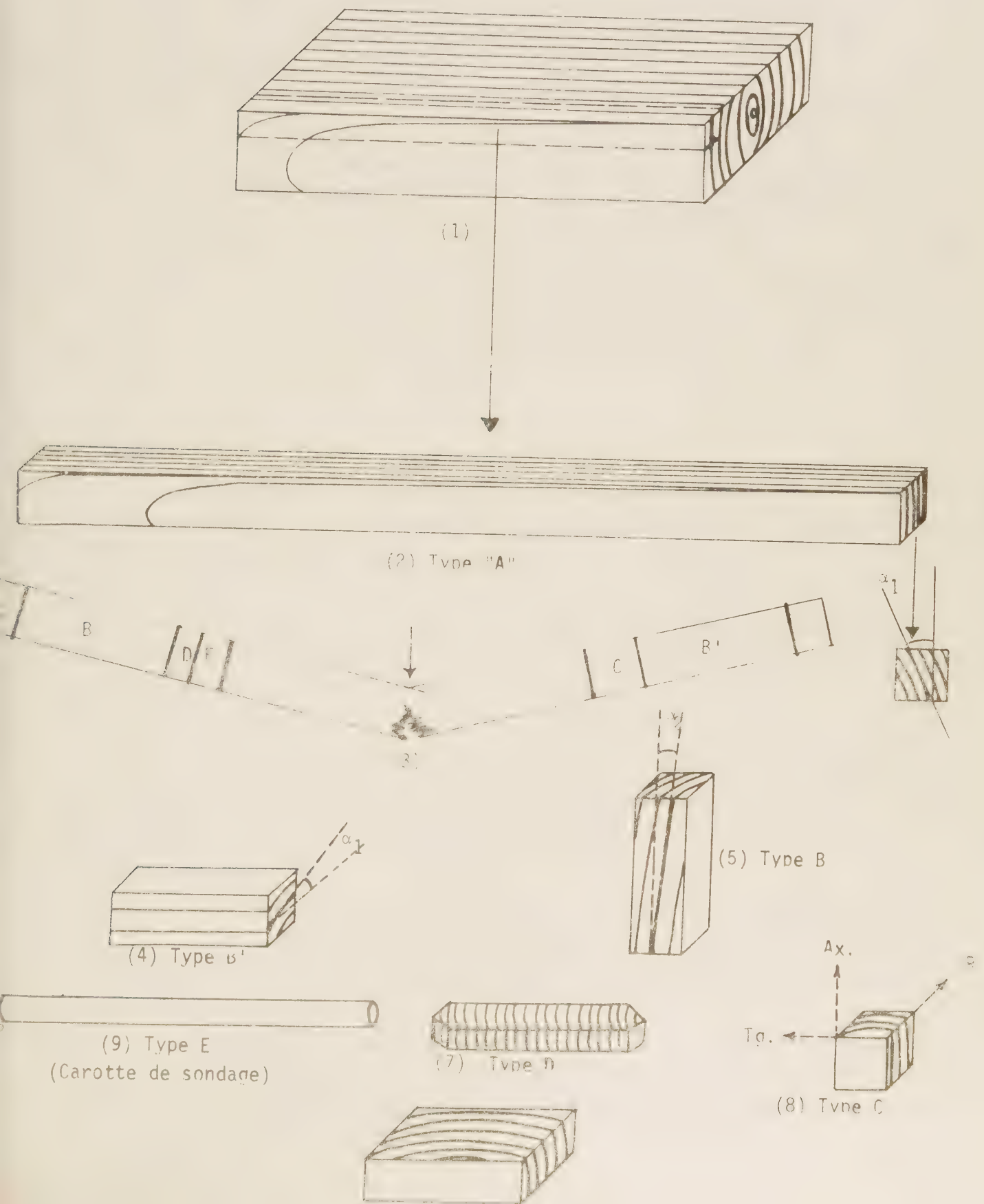
A partir des plateaux dont nous avons déjà parlé, nous avons commencé à faire les éprouvettes d'essais en flexion statique avec celles qui étaient les plus grandes. Après cet essai, nous avons tiré de chacune de ces éprouvettes, dans les zones non affectées par la rupture, cinq nouvelles éprouvettes : trois normalisées et destinées aux essais de compression axiale, compression de flanc et rétractibilité, et les deux autres destinées à l'infradensité, aux essais microdensitométriques et papetiers.

La figure 2 ci-après représente schématiquement le mode d'échantillonnage et la forme des éprouvettes ; et le tableau (7) donne les types et les dimensions de ces éprouvettes.

...

FIGURE (2)

SCHEMA REPRESENTANT LE MODE D'ECHANTILLONNAGE ET LES TYPES D' EPROUVETTES



Types	Largeur radiale mm	Largeur tangentielle mm	Largeur axiale mm	Essais correspondants
A	20	20	340	flexion statique
B, B'	20	20	60	compression axiale B compression de flanc B'
C	20	20	20	rétractibilité
D	-	-	5,3	microdensitométrie infradensité
E	variable	5	5	microdensitométrie + I.D + papeterie
F	20	20	variable	humidité

Tableau n° 7
Les types et les dimensions des éprouvettes

Remarque :

Théoriquement, les éprouvettes doivent être le droit fil et prélevées de telle manière que les portions des couches d'accroissement (cernes) aient une courbure négligeable (NF-51.003).

Mais, dans la pratique, l'échantillonnage ne permet d'obtenir que des éprouvettes un peu différentes de celles prévues par la Norme. Pour cette raison, nous avons :

1°) mesuré :

- pour les éprouvettes A et B' utilisées pour les essais en flexion statique et en compression axiale l'angle α_1 (en grades) entre les tangents au cerne et la direction tangentielle sur la section transversale des éprouvettes, voir figure n° (2).

- pour les éprouvettes B des essais en compression axiale l'angle α_2 (en grades) entre le fil du bois et la direction de l'effort (longitudinal) sur une face radiale des éprouvettes, voir figure n° (2).

Les résultats seront corrigés (par des calculs de régression) de façon à les ramener à un angle α_1 et α_2 nuls par ordinateur, car ces angles peuvent avoir une influence sur les résistances mécaniques. KELLER 1968a) a trouvé

un coefficient de corrélation de 0.764 entre l'angle et la résistance à la compression de flanc (chez *Pseudotsuga menziesii*).

2°) scié à nouveau les éprouvettes de type C pour les essais de rétractibilité de façon à ce que les cernes soient perpendiculaires à deux faces parallèles des éprouvettes.

...

II.2 - METHODES D'ESSAIS

II.2.1 - METHODES D'ESSAIS MECANIQUES

II.2.1.1 - Méthode d'essai en flexion statique

L'essai en flexion statique a été mené selon la norme A.F.NOR (B-51.008) sur des éprouvettes normalisées de type A (tableau 7) à l'aide d'une machine universelle (Modèle TESTA - 5 tonnes - Standard) de la marque Wolpert. Le principe général de cette machine est analogue à celui de la machine AMSLER, déjà décrite par VENET dans sa thèse (1958).

II.2.1.1.1 - Mode opératoire

Nous avons réglé cette machine d'après les essais à faire de flexion statique selon la méthode décrite par la norme NF B-51.008 :

1°) réglage du contrepoids (pendule avec poids interchangeables) et du cadran indicateur à 500 kg ;

2°) réglage de l'écartement entre les deux appuis cylindriques à 28 cm dont le rayon est de 15 mm ;

3°) emplacement horizontal de l'éprouvette : la face radiale sur les deux appuis, de façon à ce que le contact entre le couteau central cylindrique (de 15 mm de rayon) et l'éprouvette se fasse au milieu de la portée et perpendiculairement au fil du bois sur la face tangentielle ;

4°) vitesse maintenue d'ascension du piston qui produit la charge de flexion donc la flèche de déformation de l'éprouvette à 10 mm par minute.

Avant et après chaque essai, nous avons rapporté, sur une fiche spéciale, pour les essais de flexion, les renseignements concernant :

- les numéros des échantillons,
- leurs dimensions radiales et tangentielles
- l'aspect des cernes,
- les résultats obtenus,
- l'humidité du bois pendant l'essai (qui était, en moyenne, égale à 9 %).

La figure 6 A représente l'aspect d'une éprouvette après rupture en flexion statique.

Cet essai nous a donné les résultats suivants :

1°) la charge de rupture en kg/cm², notée après un éclatement ou craquement de l'éprouvette, avait produit une dépression de 100 kg environ ;

2°) le flèche correspondant à la charge de rupture en mm, les charges et flèches ont été enregistrées jusqu'à la rupture sous forme de graphiques : en abscisses, les flèches et en ordonnées, les charges (figure 3) ;

3°) le module d'élasticité, en kg/cm², a été calculé à partir des diagrammes de rupture.

II.2.1.1.2 - Calcul du module d'élasticité en flexion statique

En général, l'élasticité d'un matériau se reconnaît à la disparition de la déformation produite par une faible charge lorsque celle-ci cesse d'être exercée ; cette élasticité est exprimée par le module d'élasticité ou module de YOUNG.

Pour calculer le module d'élasticité, plusieurs méthodes sont possibles mais chacune donne des résultats différents, par exemple :

- la méthode vibratoire, qui exige des procédés électroniques,
- la méthode pendulaire, de M. LE ROLLAND, avec des pendules de gravité exerçant un effort alternatif à l'extrémité libre d'une éprouvette cylindrique encastrée à son autre extrémité (J. POULIGNIER - 1942),
- et la méthode de flexion statique, d'après la pente des courbes enregistrées par la machine d'essais.

Nous avons calculé ce module en utilisant cette dernière méthode qui conduit à la formule suivante :

$$E = \frac{P}{F} \times \frac{L_3}{4ab_3} \quad \text{en kg/cm}^2$$

P = la charge dans la zone élastique E,

F = la flèche correspondante,

L = distance entre les deux appuis, soit 28 cm,

a,b = dimensions radiale et tangentielle de l'éprouvette en cm.

Pour calculer P et F, il sera nécessaire de déterminer la zone d'élasticité où l'on choisit un point quelconque à partir duquel on calcule le module d'élasticité.

D'après VENET J. (1958), la zone élastique se trouve dans la première partie de la courbe de flexion statique (figure 3) où il y a proportionnalité entre les forces appliquées et les déformations.

L'éprouvette subit une déformation élastique réversible : lorsqu'on relève le couteau, l'éprouvette reprend sa forme initiale et la plume de l'appareil enregistreur revient exactement au point de croisement des axes de coordonnées.

Normalement, le passage de la zone élastique à la zone non élastique est généralement progressif et se manifeste sur la courbe quand la tangente de la courbe s'incline vers l'horizontale (figure 3). A ce stade, la courbe arrive dans la zone non élastique et l'éprouvette devient fortement fléchie ; selon BACH, dans une telle éprouvette, la fibre neutre se déplace vers la partie tendue pour rétablir l'équilibre entre les forces élastiques de traction et de compression (J. POULIGNIER - 1942).

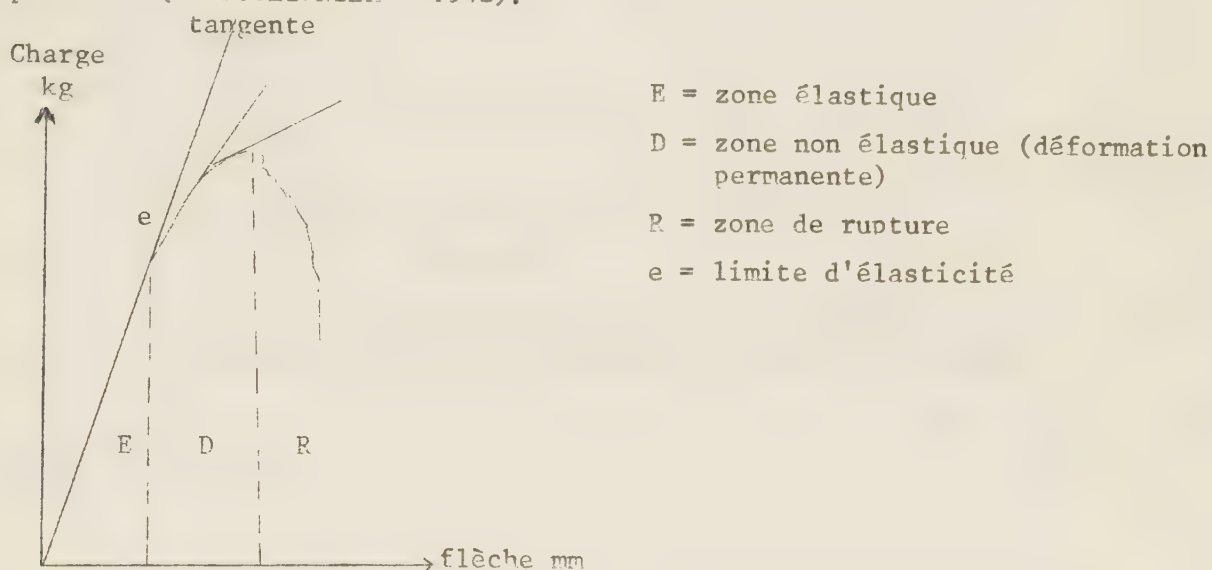


Figure n° 3

Schéma représentant les zones de la courbe d'essais en flexion statique

Pratiquement, nous avons remarqué, pour nos éprouvettes, que la rupture était presque toujours brutale et que la charge tombait très rapidement et une seule fois aux environs de 0.

Le rapport $\frac{P}{F} = \text{tg} \beta$ est constant dans toute la zone élastique. Pour faciliter les calculs, nous avons choisi un point (e) sur cette tangente correspondant à une abscisse, c'est-à-dire une flèche constante représentée, sur

le graphique, par 20 mm (pris pour toutes les courbes) et nous avons mesuré les charges correspondant à cette flèche qui sont variables d'une éprouvette à l'autre (voir figure n° 4).

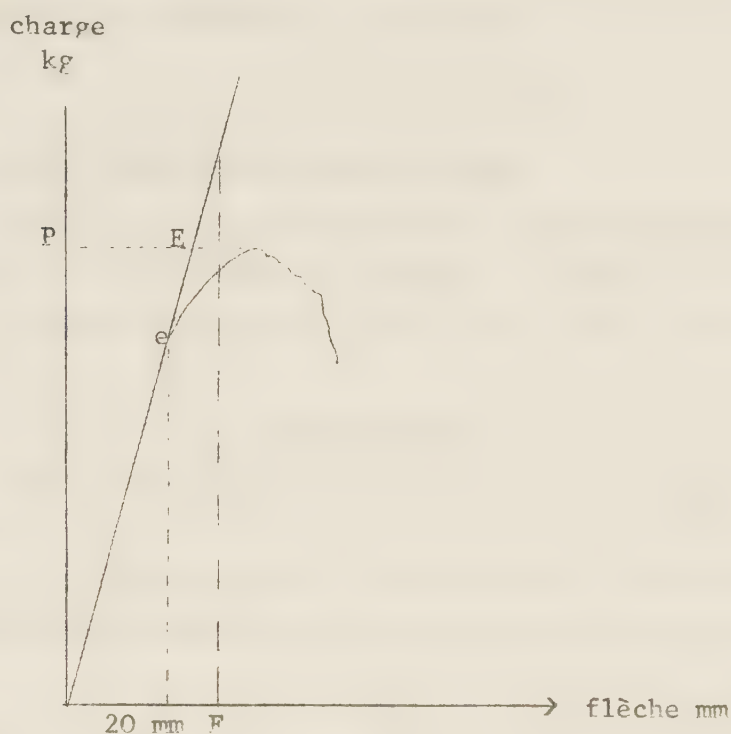


Figure n° 4

Courbe d'essais en flexion statique
montrant la façon de calculer le module d'élasticité

Si nous considérons les échelles des abscisses et des ordonnées de nos courbes, nous avons :

2 cm en abscisses sur les graphiques = 1 cm de flèche réelle,
0,03 cm en ordonnées sur les graphiques = 1 kg de charge réelle,
1 mm en ordonnées sur les graphiques = 10/3 kg de charge réelle,
comme $L = 28$ cm.

...

La formule $E = \frac{P}{F} \frac{L^3}{4ab^3}$ s'écrit après les calculs d'échelles :

$$E \text{ kg/cm}^2 = 18\,293 \frac{P}{a \cdot b^3}$$

Il suffit alors de mesurer P en mm sur les graphiques pour obtenir les valeurs de E, connaissant a et b en cm.

II.2.1.2 - Essai de compression axiale

L'essai de compression axiale a été fait selon la norme A.F.NOR B-51.007 sur des éprouvettes normalisées de type B 2 x 2 x 6 (tableau 7) à l'aide de la même machine qui a servi pour l'essai de flexion statique.

II.2.1.2.1 - Mode opératoire

Nous avons réglé la machine d'après les essais à faire de compression. Il s'agit de :

1°) remplacer le couteau central par un plateau sur rotule, la machine était ainsi munie de deux plateaux, un fixe et l'autre mobile ;

2°) régler le contrepoids (pendule avec poids interchangeables) et le cadran indicateur pour une charge maximale de 5 tonnes ;

3°) placer l'éprouvette longitudinalement sur le plateau fixe de façon à ce que l'effort de compression soit parallèle à son axe ;

4°) maintenir la vitesse d'ascension de manière à ce que la charge augmente de façon constante : 300 kg/cm² par minute environ (selon la norme).

La vitesse est un facteur non négligeable et pour avoir un bon résultat, il faut qu'elle soit fixée avec précision.

La charge et la flèche de déformation sont enregistrées dès le début de l'essai jusqu'à la rupture (l'ordonnée représente la charge et l'abscisse, la flèche).

La courbe de compression a une allure particulière : (Fig. 5), sa courbure apparaît rapidement, ce qui montre que la limite d'élasticité est dépassée très vite et que la déformation de l'éprouvette, faible au début, s'accélère subitement.

Chez le Pin Brutia, la rupture se manifeste selon trois type de déformation :

- soit par fendage longitudinal après un éclatement qui se produit normalement dans le bois sec (J. CAMPREDON - 1967) ;

- soit par écrasement d'une des extrémités de l'éprouvette ;

- soit par glissement sur un plan oblique à 45° environ (plan de cisaillement maximum théorique), qui produit une foulure des fibres et qui s'observe normalement dans le bois sec à l'air (J. CAMPREDON - 1967),

dans la figure (6) se présentent les types de déformation après la rupture de compression axiale.

Les deux derniers types sont les plus fréquents.

Cet essai nous a fourni deux caractéristiques :

- 1°) charge de rupture en compression axiale en kg/cm^2 après une dépression de 50 kg environ ;

- 2°) module d'élasticité longitudinal en compression axiale en kg/cm^2 .

Nous avons fait faire les corrections nécessaires (calculs de corrélation) par ordinateur pour éliminer l'influence de l'humidité et rapporter la charge de rupture à 12 % d'humidité, selon la norme, ainsi que l'influence de l'angle α_2 de l'inclinaison du fil du bois par rapport à l'axe de l'éprouvette. Cet angle a été mesuré au cours d'essais en grades.

II.2.1.2.2 - Calcul du module d'élasticité longitudinale en compression

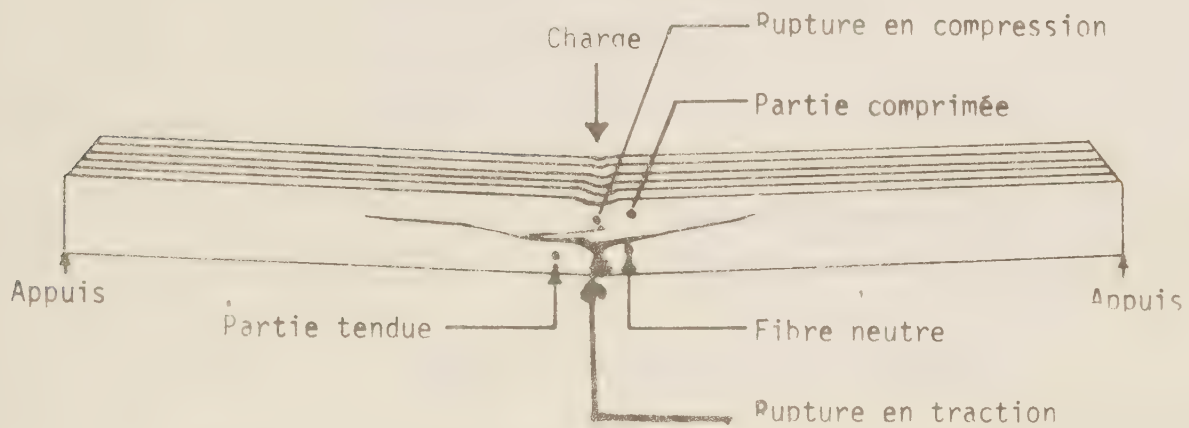
Le calcul du module d'élasticité longitudinal en compression est fait après les courbes d'essais des compressions axiales enregistrées. Il présente une allure particulière : leur partie rectiligne, très voisine de l'axe des ordonnées, limite d'élasticité, étant très vite dépassée. (Fig. 5).

...

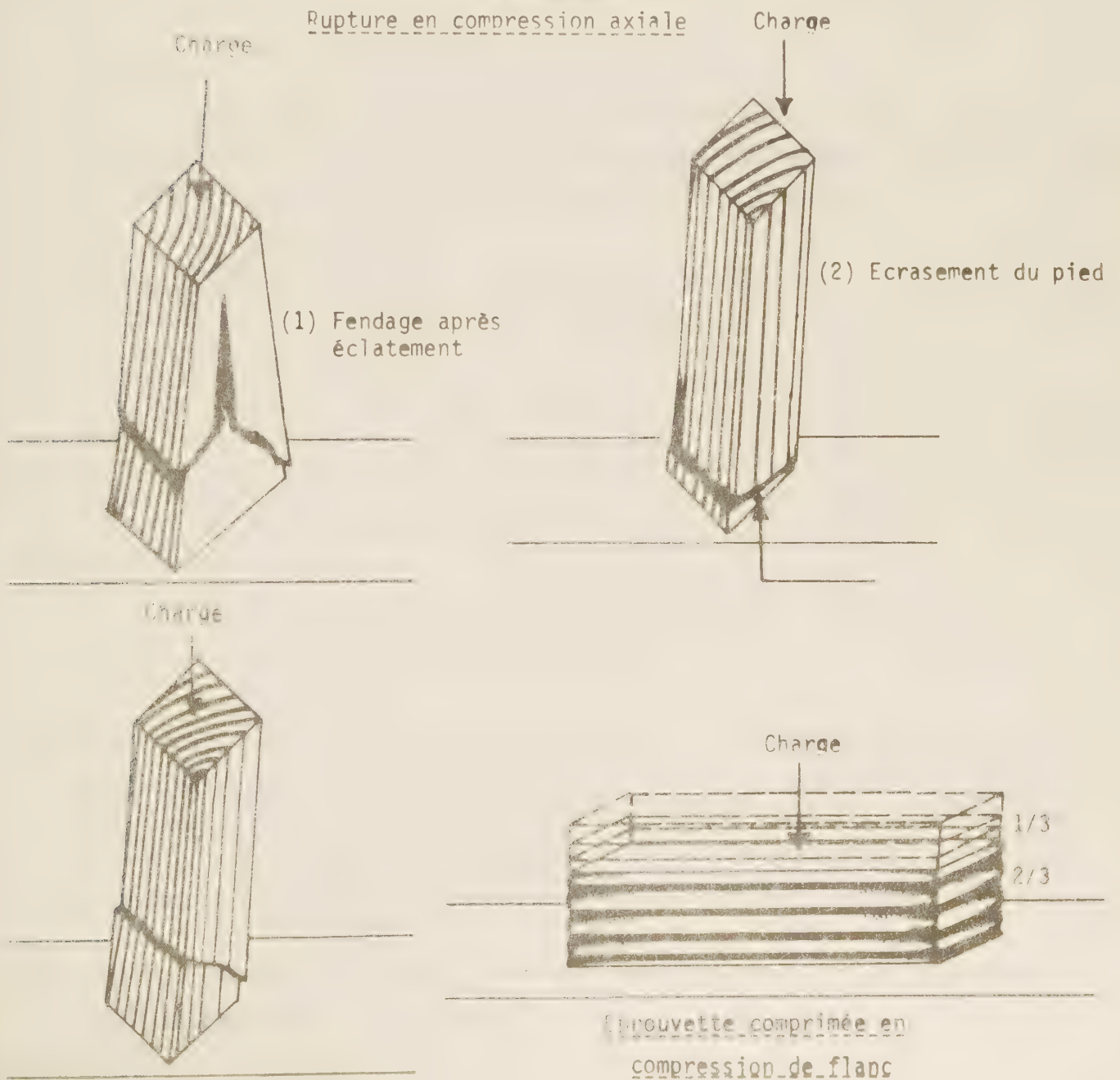
FIGURE (6)

ASPECTS DE RUPTURE APRES L'ESSAI MECANIQUE

Rupture en flexion statique



Rupture en compression axiale



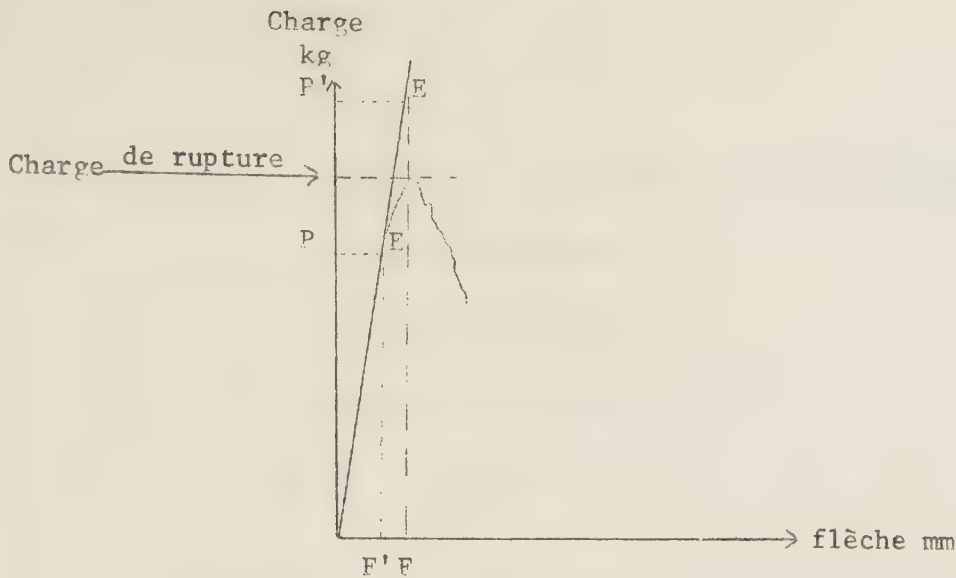


Figure n° 5)

Courbe d'essais en compression axiale

Pour calculer le module d'élasticité, nous avons tracé les tangentes aux courbes ; le point E dans la zone élastique est déterminé, comme nous l'avons dit, dans le calcul du module d'élasticité en flexion statique.

Nous avons appliqué la formule suivante :

$$E_c \text{ en kg/cm}^2 = \frac{L}{a.b} \frac{P_2 - P_1}{l_1 - l_2} \text{ où}$$

E_c = module d'élasticité longitudinale en compression,

$P_2 - P_1 = P$, charge correspondant au point E dans la zone élastique,

$l_1 - l_2 = f$, flèche correspondant au point E dans la zone élastique,

$a.b$ = dimensions radiale et tangentielle de l'éprouvette,

L = longueur de l'éprouvette.

La formule peut s'écrire :

$$E_c = \frac{6}{a.b} \times \frac{P}{F} = \frac{6}{a.b} \operatorname{Tg} \beta$$

et pour faciliter les mesures et les calculs, nous avons choisi un point E' appartenant à la tangente à la courbe dans la zone des déformations élastiques proportionnelles, la charge constante correspondant étant P', et F', la flèche associée. Cette dernière est évidemment variable. En tous les points de cette tangente, on mesure la même $\operatorname{Tg} \beta'$ (par exemple : $\frac{P}{F} = \frac{P'}{F'} = \operatorname{Tg} \beta'$).

Si nous considérons les échelles des abscisses et des ordonnées de nos enregistrements, nous avons :

6,25 mm, en abscisses, sur les graphiques	= 1 mm de flèche réelle,
1 cm, en abscisses, " " "	= 1/6,25 cm de flèche réelle,
60 mm, en ordonnées, " " "	= 2 000 kg de charge réelle
0,03 mm en ordonnées, " " "	= 1 kg de charge réelle
dont $E_c \frac{1\ 687\ 500}{a.b.F'}$	en kg/cm ² , tous calculs faits.

Connaissant a et b pour chaque éprouvette, il suffit alors de mesurer F' en cm sur l'axe des abscisses pour connaître Ec en kg/cm².

II.2.1.3 - Essai de compression de flanc (dureté)

Cet essai exprime la dureté chez les bois des résineux et parfois chez les feuillus tendres ; il n'a pas été décrit dans les normes. Il a consisté, pour nous, à comprimer radialement, une éprouvette de type B' 2 x 2 x 6 cm (Fig.), sur ses faces tangentielles, entre deux plateaux avec la même machine d'essais TESTA (5 tonnes), jusqu'à ce que sa dimension radiale se soit abaissée du 1/3 de sa valeur initiale. Nous avons noté la charge nécessaire correspondante en kg/cm².

II.2.1.3.1 - Mode opératoire

On a maintenu le même réglage de la machine que celui qui a été utilisé pour l'essai en compression axiale :

- on place l'éprouvette sur le plateau fixe de la machine d'essai sur une face tangentielle de façon à ce que la charge de compression ait une direction radiale ;

- on maintient constante la vitesse d'ascension, égale à 10 mm par minute pour toutes les éprouvettes.

La figure n° 6 montre le type de déformation après compression d_u flanc.

II.2.2 - METHODES D'ESSAIS PHYSIQUES

II.2.2.1 - Largeur des cernes

Les largeurs de cernes ont été mesurées sur les courbes de variation de la densité (courbes microdensitométriques) en mm et à la précision de 1/100 mm.

On a mesuré la longueur totale du graphique et divisé par le nombre de cernes et par le facteur d'agrandissement de l'enregistrement, Figure (10).

Nous avons déterminé les largeurs de cernes sur deux types d'échantillons :

- les carottes de sondage en mesurant les largeurs de cernes dans des 15 dernières années seulement à partir de l'écorce,

- les éprouvettes parallélépipédiques de type D (Fig. 2) en mesurant tous les cernes présents qui ne correspondent pas aux mêmes années pour tous.

II.2.2.2 - Détermination de l'humidité

L'humidité a été déterminée pour chaque éprouvette après l'essai en flexion statique sur des éprouvettes de dimension 2 x 2 x 0,7 environ, en mesurant son poids:Ph, au moment de l'essai; et son poids anhydre:Po, après passage dans l'étuve à 103°C jusqu'à poids constant.

Les pourcentages d'humidité sont calculés par la formule suivante :

$$H \% = \frac{Ph - Po}{Po} \times 100 \quad (\text{Norme A.F.NOR B-51.003})$$

Comme nous l'avons déjà dit, les degrés d'humidité, déterminés après l'essai en flexion statique, ont servi pour tous les essais ayant utilisé des éprouvettes prises dans les parties non affectées des éprouvettes de flexion statique. Elles portent les mêmes numéros de références.

II.2.2.3 - Excentricité

L'excentricité est la différence entre les longueurs radiales (rayon) de part et d'autre de l'axe de l'arbre / dans les plateaux d'expérience.

Ex. = e - é (voir Fig. 7)

Cette mesure nous permet de déterminer l'homogénéité de la croissance de l'arbre et, peut-être, la partie de l'arbre, c'est-à-dire la planche, dans lequel du bois de compression peut exister.

Les différences ont été mesurées avec une précision de 1/10e de millimètre et feront l'objet de calculs de corrélations entre elles et d'autres caractères, en particulier la rétractibilité.

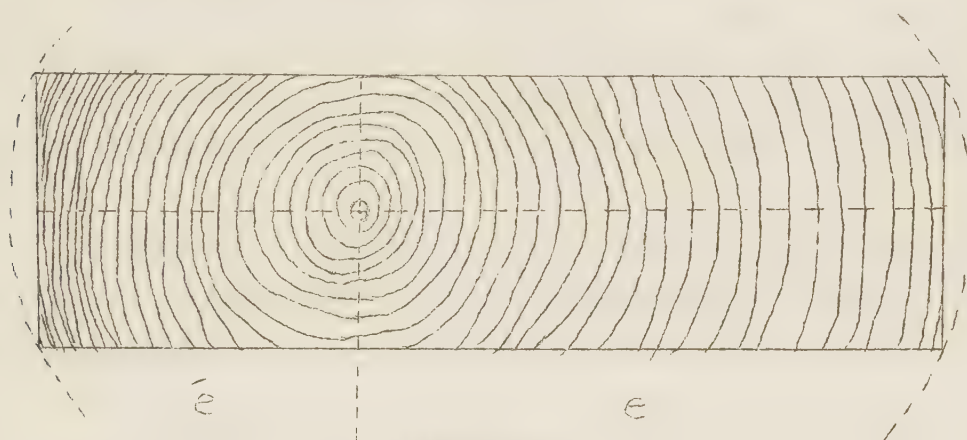


Figure n° 7

Schéma représentant l'excentricité du bois, par rapport à l'axe de l'arbre

II.2.2.4 - Détermination de la teneur en résine

L'extraction de la résine a été faite préalablement aux mesures de la densité globale (infradensité) par épuisement dans un soxhlet, à l'aide d'un mélange en parties égales alcool-benzène durant 48 heures.

Les éprouvettes sont pesées avant et après l'extraction à 15 % d'humidité et les pourcentages de résine ont été déterminés à l'aide de la formule suivante :

$$R \% = \frac{Pr_{15} - P_{15}}{P_{15}} \times 100 \quad \text{où}$$

Pr_{15} = poids avant extraction à 15 % d'humidité

P_{15} = poids après extraction à 15 % d'humidité

...

Cette opération a été faite sur les carottes de sondage de type (E) et sur les éprouvettes de type (D) (Fig. 2), destinée aux essais microdensitométriques. Sur ces dernières, nous avons extrait la résine sans calculer les pourcentages.

II.2.2.5 - Infradensité (densité globale)

La densité globale a été déterminée, dans notre travail, sous forme d'infradensité (rapport du poids anhydre au volume saturé $\frac{P_o}{V_s}$). Ce caractère physique est de plus en plus utilisé, de préférence aux autres densités telles que la densité anhydre ou la densité à 15 % d'humidité, grâce à l'invariabilité de son volume saturé V_s , qui reste constant lorsque le point de saturation intégrale dans l'eau est atteint. Les déterminations des volumes à l'état anhydre ou à 15 % d'humidité exigent du matériel et du temps sans conduire à des précisions supérieures, malgré les améliorations qu'on a pu essayer d'y apporter.

Nous avons donc mesuré l'infradensité en utilisant la méthode de la saturation intégrale mise au point par KEYLWERTH en 1954 et améliorée par POLGE (en 1963 a).

Cette méthode est fondée sur le fait que la matière ligneuse pure a une densité presque constante de 1,53 et que le volume saturé V_s est égal au volume de la matière ligneuse pure augmenté du volume occupé par l'eau, ce qui permet, par conséquent, de mesurer l'infradensité en utilisant deux valeurs seulement facilement mesurables avec une balance au dixième de mg : le poids saturé P_m et le poids anhydre P_o sont toujours constants. La méthode de la saturation intégrale a été expliquée dans les travaux de POLGE H. en 1963a et 1966.

II.2.2.5.1 - Mode opératoire

Cet essai a été fait sur deux types d'échantillons : les carottes de sondage de type (E) et les éprouvettes de type (D), qui sont tirées des éprouvettes de flexion statique (Fig. 2).

Avant l'essai, les échantillons ont subi l'extraction préalable de la résine, selon la méthode déjà décrite dans la partie relative aux essais

physiques. Ensuite, elles ont été mises à bouillir dans l'eau pendant 48 heures pour obtenir, après la saturation intégrale, leur poids maximum P_{max}, puis elles ont été mises à sécher dans l'étuve à 103°C jusqu'à un poids anhydre P_o.

L'infradensité est calculée en utilisant la formule suivante (POLGE H. - 1963a) :

$$\frac{P_o}{V_s} = \frac{1}{P_{max}/P_o - 0,347} \text{ en g/dm}^3$$

Cette méthode a été adoptée et est constamment utilisée par la Station de Recherches sur la Qualité des Bois du Centre National de Recherches Forestières de l'I.N.R.A.

II.2.2.6 - Rétractibilité

Cet essai est fait selon la méthode décrite par la norme A.F.NOR (B-51.006) sur des éprouvettes de type C (Fig. 2), auparavant préparées de façon à ce que leurs faces tangentiellles soient exactement parallèles aux limites des cernes, et leurs faces radiales, bien perpendiculaires à celles-ci.

Les mesures des retraits sont faites à l'aide d'un micromètre de 1/100 mm de précision, selon les trois directions : radiale, axiale et tangentielle, et à trois états de siccité différents : sec à l'air, saturé et anhydre.

II.2.2.6.1 - Mode opératoire

Pour obtenir les trois états de siccité, nous avons fait les opérations suivantes :

1°) sec à l'air : à 15 % d'humidité après un passage pendant 48 heures dans une étuve hygrométrique réglée de façon à avoir ce degré dans le bois ;

2°) saturé (jusqu'au point de saturation des fibres) : après avoir immergé les éprouvettes dans l'eau froide pendant 48 heures ;

3°) anhydre : après le séchage dans l'étuve à 103°C pendant 24 heures, jusqu'à obtenir un poids constant.

Pour assurer une plus grande exactitude des résultats, nous avons pris deux mesures sur une diagonale en deux points situés au 1/4 et aux 3/4 de la longueur (méthode suisse d'Oscar LENZ - 1964) sur chaque face, la valeur retenue étant la moyenne de ces deux mesures (Fig. 8).

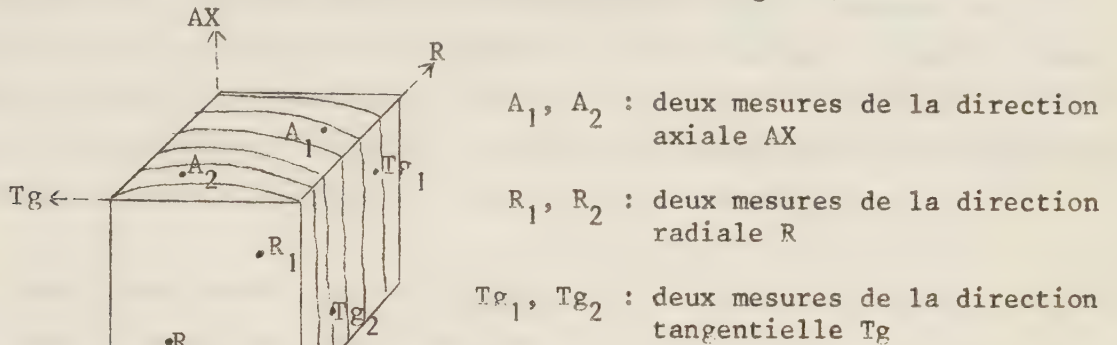


Figure n° 8

Schéma représentant la position des mesures de rétractibilité

Les calculs ont été faits, pour toutes les directions et entre tous les états, en utilisant, par exemple, pour le retrait radial, la formule suivante (qui représente le retrait radial entre l'état sec à l'air et l'état anhydre) :

$$Rr = \frac{D_{15} - D_0}{D_0} \times 100 \text{ où}$$

Rr = retrait radial,

D_{15} = dimension radiale de l'éprouvette à l'état sec à l'air à 15 % d'humidité

D_0 = dimension radiale de l'éprouvette à l'état anhydre

Nous avons calculé le retrait volumétrique R_v à partir des retraits tangentiels (R_t), radial (R_r) et axial (R_a) par la formule approchée :

$R_v = R_t + R_r + R_a + R_t + R_r$. La valeur exacte est :

$$R_v = R_t + R_r + R_a + R_t R_r + R_a R_t + R_a R_r + R_t R_r R_a$$

Nous n'avons donc pas tenu compte des produits dans lesquels intervenait R_a car le retrait axial est en général très faible en les termes de 2ème ordre et de 3ème ordre dans lesquels il intervient sont négligeables.

II.2.3 - METHODES D'ESSAIS MICRODENSITOMETRIQUES (RADIOGRAPHIE)

Cet essai, très moderne dans le domaine de la qualité du bois, permet d'étudier non seulement la texture du bois (rapport entre la largeur de la zone du bois d'été et la largeur totale de la couche d'accroissement), mais encore les variations de la densité dans les accroissements annuels successifs. On obtient ainsi des composantes de la densité : densité maximale annuelle, densité minimale annuelle, pourcentage du bois ayant une densité supérieure à différents seuils de référence, à partir d'un cliché radiographique des échantillons et après exploration de ce cliché à l'aide d'un microdensitomètre.

Pour mieux comprendre cette méthode, il sera utile de parler, en général, du principe des études radiographiques :

Quand un flux de rayons X (ondes électro-magnétiques transversales), d'intensité et de composition spectrale constantes, traverse perpendiculairement à sa surface un objet, tel que le bois, de constitution chimique homogène (donc de coefficient d'absorption constant), la fraction non absorbée de la dose incidente de rayons X (qui seule impressionne l'émulsion) n'est fonction que du poids superficiel du matériau constituant l'objet irradié, c'est-à-dire du produit de la densité par l'épaisseur ; et si l'un de ces facteurs est lui-même constant, le noircissement du film radiographique au gélatino-bromure d'argent (qui est disposé en dessous de l'objet) peut donc rendre compte des variations de l'autre, POLGE - 1969

A épaisseur constante et dans des conditions radiographiques déterminées, les changements d'opacité de l'image radiographique (noircissement) ne sont donc fonction que des variations de la densité de l'objet traversé.

Après développement, les zones de faible densité (bois de printemps), très transparentes aux rayons X, apparaissent comme des surfaces sombres, et celles de forte densité, comme des surfaces claires.

On peut transformer la relation existant entre la densité optique de l'image et la densité du bois en une relation linéaire à l'aide d'un microdensitomètre enregistreur. Cet appareil trace les courbes de densité (où on trouve, en abscisses, les longueurs radiales de l'échantillon et, en ordonnées, les valeurs de la densité) ; il analyse l'opacité de l'image en équilibrant l'intensité d'un faisceau lumineux traversant le film et celle d'un autre faisceau issu

de la même source et passant à travers un coin optique de densité variable. Ce procédé permet l'enregistrement continu des variations de la densité du bois constituant chaque échantillon (Fig. 10).

Pour rendre les courbes mesurables en valeur absolue de densité du bois, on utilise des étalons formés de plusieurs paliers de feuilles de cellophane superposées, d'épaisseur unique, homogène et de composition chimique constante (acétate de cellulose) voisine de celle du bois. Chacun de ces paliers correspond à une valeur connue de densité exprimée en masse par unité de volume (g/dm^3), donc à une ordonnée qui sert de référence pour les mesures quantitatives des courbes de variation de la densité (Fig. 10).

Cette méthode originale est bien décrite dans la thèse de POLGE H. - 1966 "Etablissement des courbes de variation de la densité du bois par exploitation densitométrique de radiographies d'échantillons prélevés à la tarière sur des arbres vivants. Application dans les domaines technologique et physiologique".

II.2.3.1 - Mode opératoire

Cet essai a été fait sur deux types d'échantillons : d'une part, des carottes de sondage prélevées à la tarière de 5 mm perpendiculairement au fil du bois et, d'autre part, après l'extraction de la résine des éprouvettes parallélépipédiques de type D (Fig. 2) découpées dans les échantillons ayant subi l'essai de flexion statique.

Malgré toutes les précautions prises pendant l'échantillonnage, il arrive que les échantillons ne soient pas parfaitement radiaux, mais plus ou moins excentrés par rapport à l'axe de l'arbre. Les échantillons se déforment alors en séchant, en raison de l'anisotropie des retraits tangentiels et radiaux ; ou encore, ils ne sont pas exactement perpendiculaires au fil du bois, ce qui risque de conduire, sur les films radiographiques, à des résultats inexacts dus aux flous.

Pour cette raison, nous avons fait quelques préparations préalables suivant les méthodes utilisées par la Station de Recherches sur la Qualité des Bois du C.N.R.F. :

- redressement et conditionnement, à 15 % d'humidité, des carottes de sondage en les plaçant dans une étuve hygrométrique, à l'intérieur de presses spéciales pendant 48 heures ;

- calage des échantillons à l'aide d'un appareil, mis au point par cette même station, de façon à rendre les limites de cernes, ou le fil du bois, perpendiculaires au plan de base, ou parallèles aux faisceaux des rayons X. A leur extrémité, du côté du coeur, on colle des cales de carton de longueur appropriée pour rétablir le nécessaire parallélisme entre fil du bois et rayonnement (Fig. 9 A et B).

Parfois, nous avons dû caler certains échantillons parallélépipédiques de type (D) * suivant les deux directions : en mettant une cale dans un plan longitudinal-radial, et une autre dans un plan longitudinal-tangentiel, pour que le fil du bois devienne parallèle aux faisceaux de rayons X (Fig.9 C et D).

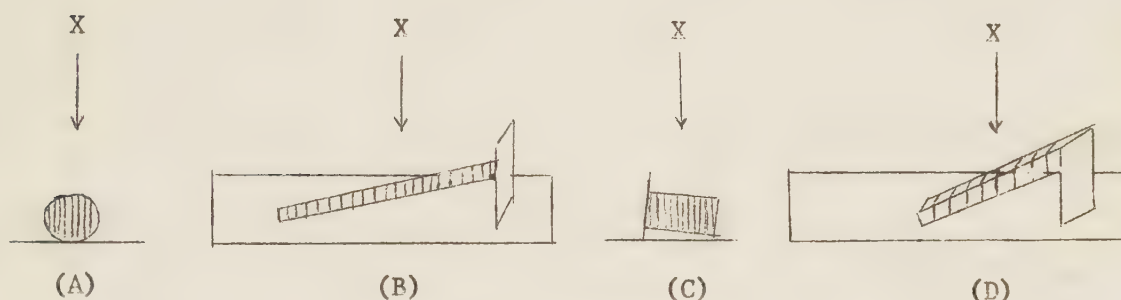


Figure n° 9

Calage des échantillons pour radiographie

X = rayon X

Après ces préparations, tous les échantillons sont mis sur des films radiographiques de 18 x 24 cm et sont irradiés dans les conditions suivantes :

- film nu de 18 x 24 cm,
- distance entre la source et le film : 2,5 m,
- intensité du flux : 20 MA,
- tension accélératrice : 15 KV,
- temps d'exposition : 3 mm 45 s.

Le développement a été fait comme suit :

- dans le révélateur : 4 mm à 20°C à l'aide d'une machine à développer automatique dans laquelle se trouve un système d'agitation spécial constitué d'une pompe péristaltique qui assure le renouvellement du bain dans le sens vertical, et d'une double palette mue par un moteur pneumatique qui assure un brassage du bain dans le sens horizontal. Cette machine a été construite par la Station de Recherches sur la Qualité des Bois du C. N. R. F.

...

* du fait qu'ils n'ont pas une forme cylindrique comme les carottes de sondage.



FIGURE n° 10 = COURBE DE VARIATION DE LA DENSITE (MICRODENSITOMETRIQUE)

largeur totale des cernes x 10 m

Elle donne une bonne uniformité du développement des films radiographiques, ce qui est indispensable pour obtenir des résultats quantitatifs corrects.

- bain d'arrêt : 5 mn,
- rinçage dans l'eau,
- fixation dans un fixateur : 10 mn,
- rinçage dans l'eau : 30 mn,
- passage dans un bain mouillant.

Les clichés radiographiques nets sont analysés par le microdensitomètre qui trace les courbes de variation de la densité des 15 dernières années (de 1954 jusqu'à 1968 inclus).

A partir de ces enregistrements, ont été obtenus les résultats suivants :

- largeur moyenne des cernes en mm,
- moyenne des densités maximales (Dmx) en g/dm³ calculée d'après les valeurs de la densité maximum année par année,
- moyenne des densités minimales (Dmi) en g/dm³ calculée d'après les valeurs de la densité minimum année par année,
- écart entre les moyennes des densités maximale et minimale (Dmx - Dmi),
- pourcentage du bois ayant une densité égale ou supérieure à 500 g/dm³, calculé d'après les largeurs du bois d'été année par année, au niveau de 500 g/dm³ de densité, tracé sur les graphiques, rapportées aux largeurs totales des cernes (Fig.), comme il est indiqué dans la formule suivante :

$$\% = \left\{ \frac{bc}{ac} + \frac{de}{ce} + \frac{fg}{eg} + \dots \right\} \times 100 \quad (\text{Keller} - 1968)$$

- pourcentage du bois ayant une densité égale ou supérieure à 650 g/dm³, selon la même modalité que pour le niveau 500 g/dm³
- pourcentage du bois ayant une densité égale ou supérieure à 800 g/dm³, selon la même modalité que pour le niveau 500 g/dm³,

...

- hétérogénéité de la densité maximum (Dmx) dans le bois, exprimée en pourcentage d'écart de la densité maximum par rapport au niveau des 800 g/dm³ et qui est donnée par la formule :

$$E_{mx} = \frac{E_1 n_1 + E_2 n_2}{\bar{M}.N} \times 100 \quad \text{où}$$

- E_1 : moyenne des écarts de deux Dmx les plus élevées au-dessus du niveau de 800 g/dm³,
 n_1 : nombre de Dmx au-dessus du niveau 800 g/dm³,
 E_2 : moyenne des écarts de deux Dmx les plus basses au-dessous du niveau 800 g/dm³,
 n_2 : nombre de Dmx au-dessous du niveau 800 g/dm³,
 $\bar{M}$: moyenne générale des densités maximales déjà calculées,
 N : nombre de cernes mesurés.

Plus le chiffre est grand, plus l'hétérogénéité est élevée.

La raison pour laquelle nous avons calculé uniquement l'hétérogénéité des densités maximales est qu'elles sont probablement plus liées aux propriétés de résistance mécanique que les densités minimales, et l'analyse statistique, qui sera faite, révélera, nous l'espérons, l'existence de relations entre cette hétérogénéité et d'autres caractères mécaniques, en calculant leurs corrélations.

...

II.2.4 - METHODES D'ESSAIS PAPETIERS

II.2.4.1 - Définition

L'étude des propriétés papetières de *Pinus Brutia* repose sur un aspect de la technologie papetière : le rendement en pâte, après cuisson, que peut fournir ce bois.

Dans la suite de ce travail, nous nous proposons de mettre en corrélation, avec ce rendement, tous les autres caractères que l'on a pu déterminer sur les arbres : densité du bois, largeur des cernes, etc...

Pour l'étude des rendements, nous avons procédé en deux étapes :

- la détermination des conditions de cuisson suivant chaque traitement choisi,
- l'étude de la variabilité des rendements entre les arbres et entre les stations, ce dont nous avons déjà parlé.

Cette étude a été possible grâce à la méthode de microcuisson (JANIN - 1972a) mise au point à la Station de Recherches sur la Qualité des Bois.

II.2.4.2 - Méthode générale de microcuissons

Les microcuissons reposent sur le même principe que les cuissons industrielles : elles respectent tous les paramètres connus des traitements et donnent des types de pâte de même nature. Elles nécessitent des conditions de température et de durée parfaitement reproductibles pour que les résultats obtenus soient comparables entre eux et puissent faire l'objet d'interprétation valable pendant toute la durée d'une expérimentation. En effet, un travail de microcuissons comparatives peut comporter 60 traitements successifs qui doivent nécessairement être faits dans des conditions semblables.

II.2.4.2.1 - Matériel d'essais

L'appareillage est constitué par :

- les microlessiveurs,
- le bain d'huile thermostaté,
- un système de filtration.

Les microlessiveurs de 12 cm³ de volume utile, dans lesquels on peut traiter de 0,5 à 2 g de bois, sont au nombre de 24. Ils peuvent être tous utilisés dans un seul traitement. Ce nombre permet de traiter une grande quantité d'échantillons dans des conditions comparables.

Le bain d'huile thermostaté, fabriqué en acier inoxydable, a les dimensions suivantes : hauteur 35 cm, longueur 35 cm, largeur 25 cm.

Il est équipé d'un moteur qui permet d'agiter les microlessiveurs montés sur un équipement mobile. Il possède une régulation (appareil JUMO) de température et de temps avec un enregistreur sur papier.

L'installation de filtration sous vide permet de récupérer la totalité des fibres et d'assurer un lavage correct de celles-ci.

Le matériel végétal est constitué par les carottes de sondage droites qui étaient destinées à l'étude microdensitométrique et par les échantillons parallélépipédiques de 5 x 5 x 20 cm, de poids compris entre 0,5 à 2 g.

II.2.4.2.2 - Les méthodes de cuisson envisagées sont :

- à la soude (NaOH) pure,
- kraft (*) (ou au sulfate), avec de la soude pure et du sulfure de sodium (Na₂S, qH₂O) cristallisé, qui a le plus tendance à se développer dans l'industrie papetière actuelle. Les indices chimiques que l'on emploie pour apprécier la cuisson et la qualité de la pâte sont ;

- a) le dosage des liqueurs blanches et noires (**) dans lesquelles on dose la soude et le sulfure avant et après cuisson,

- b) l'indice de permanganate (KMnO₄) qui est le nombre de cm³ de KMnO₄ consommé par gramme de pâte après cuisson dans des conditions de réaction définies.

Le rendement est calculé par le rapport :

$$R \% = \frac{\text{Poids de fibre anhydre}}{\text{Poids de bois anhydre}} \times 100$$

...

(*) Kraft signifie en allemand : durs, résistant.

(**) Liqueurs blanches et noires : solutions chimiques avant et après cuisson.

II.2.4.3 - Détermination des conditions de cuisson de Pinus brutia suivant chaque traitement

II.2.4.3.1 - Description des conditions de cuisson

Les conditions de cuisson à déterminer se rapportent pour chaque mode de cuisson :

a) au diagramme température-temps qui est donné par le système de régulation prévu ;

b) au quantités de réactifs utilisés, en pourcentage, par rapport au bois :

- l'Alcali Actif est le pourcentage de réactifs NaOH ou NaOH + Na₂S par rapport au bois sec,

- la Sulfidité : $\frac{\text{Na}_2\text{S}}{\text{NaOH} + \text{N}_2\text{S}}$ est égale à la quantité des composés sulfinés rapportée à la somme totale des réactifs.

Tous les réactifs sont exprimés en Na₂O.

c) au rapport $\frac{\text{liquide}}{\text{bois}}$, soit le volume de liqueur d'attaque par rapport au poids de bois anhydre.

A chaque variation d'un des facteurs de la cuisson correspond : un rendement différent et une qualité différente de la pâte au point de vue de la délignification.

Dans nos essais, nous avons gardé comme constants :

a- le diagramme température-temps (voir figure 11)
soit :

1 h d'imprégnation à 100°,

1 h 30 de montée régulière en température de 100 à 170°C,

1 h 30 à 170°C pour assurer une bonne dissolution des composés de lignines,

b- le rapport $\frac{\text{liquide}}{\text{bois}} = 4$, soit : 4 litres de solution d'attaque par kilogramme de bois anhydre.

...

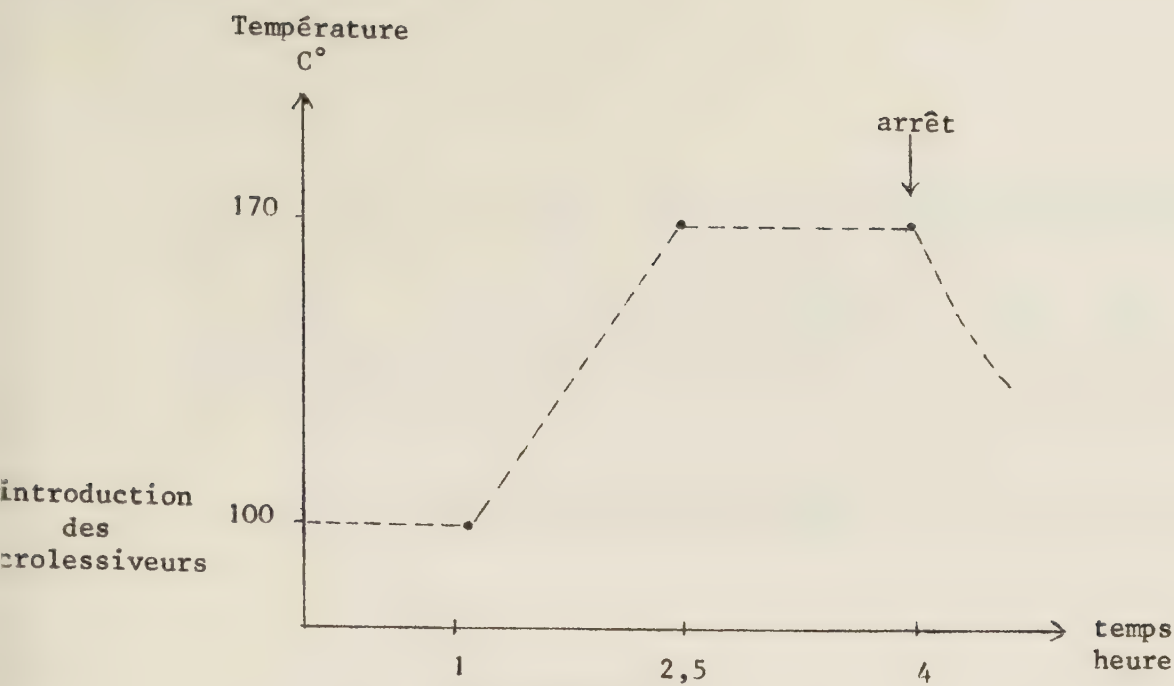


Figure n° 11
Diagramme température-temps

Et nous avons pris comme variable :

- les pourcentages d'Alcali-Actif par rapport au bois en prenant huit pourcentages différents pour chaque traitement avec à chaque fois trois répétitions pour établir une moyenne valable.

Dans les tableaux ci-après, les pourcentages d'Alcali-Actif sont regroupés pour les deux traitements à la soude et au kraft.

Alcali-Actif % (Na ₂ O)	40	35	30	26,6	23	20	18	15
g/L NaOH	129,03	112,90	96,77	85,80	74,19	64,51	58,06	48,38

Tableau n° 8
Pourcentage d'Alcali Actif utilisé dans le traitement à la soude pure

...

Alcali-Actif %	40	35	30	26,6	23	20	18	15
g/l NaOH	103,22	90,2	77,6	68,8	59,3	51,6	46,50	38,8
g/l Na ₂ S, qH ₂ O	77,40	67,5	58,19	51,60	44,48	38,7	34,86	29,09

Tableau n° 9
Pourcentage d'Alcali-Actif utilisé dans le traitement kraft
(20 % de sulfidité pour toutes)

II.2.4.3.2 - Mode opératoire

A) Préparation de la liqueur blanche : en utilisant des produits purs de laboratoire pour obtenir des solutions de concentration désirées.

Les échantillons sont réduits en petite dimension et introduits dans les microlessiveurs.

B) Cuisson : on plonge le support portant les microlessiveurs dans le bain d'huile à 100°C.

Dès que le diagramme température-temps est achevé, la cuisson est terminée ; on retire alors le support et les microlessiveurs sont plongés dans l'eau froide pour arrêter les réactions à la fin du temps prévu.

Chaque microlessiveur est alors ouvert et l'on sépare :

- la liqueur noire de cuisson pour les dosages de soude et le sulfure restant après le traitement,

- les échantillons de bois délignifié.

C) Défibrage à l'aide d'un broyeur ménager ; les fibres dispersées dans l'eau sont recueillies par filtration sous vide, séchées à 102°C et pesées pour déterminer le rendement en appliquant la formule précédemment décrite.

D) Détermination des indices de cuisson :

a) dosage de la liqueur noire :

Pour déterminer la consommation de réactifs, on dose la soude restant dans la liqueur par l'acide chlorhydrique (HCl N/10) au virage de la phtaleine du phénol.

On dose la soude et le sulfure restant par Hcl N/10 à l'aide des deux virages :

- de phtaleine du phénol,
- d'hélianthine.

Et on calcule le pourcentage de la consommation des réactifs pour savoir si la réaction s'est bien déroulée.

b) détermination de l'indice de permanganate KMnO_4

Le mode opératoire est celui de la norme NF T-12.007, qui exprime la consommation du KMnO_4 N/10 en cm^3 par gramme de pâte.

Le principe est le suivant :

- on met en contact, pendant 5 mn $\pm$ 10 s, du KMnO_4 N/10, dilué jusqu'à la normalité N/300 par rapport aux fibres, en milieu acide H_2SO_4 4N/30 ;
- on libère l'iode de l'iodure de potassium par action du KMnO_4 restant ;
- et on dose l'iode en retour par l'hyposulfite de sodium $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ N/10.

Le tableau ci-après donne l'équivalence qui existe entre : le poids de pâte et le volume de réactifs utilisés pour cette réaction.

Poids de fibre anhydre gramme	H_2SO_4 4N cm3	KI cm3	Eau cm3	Volume final cm3	KMnO_4 N/10 cm3	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ N/10 cm3	Indice
1	40	5-10	1 120	1 200	40	X_1	$\frac{40 - X_1}{1}$
0,5	20	3-5	560	600	20	X_2	$\frac{20 - X_2}{0,5}$

Tableau n° 10
Quantité de réactifs chimiques utilisée pour l'opération de l'indice de permanganate

L'indice de permanganate se calcule en utilisant la formule suivante :

$$IKMnO_4 = \frac{V_1 - V_2}{F}$$

où V_1 = volume $KMnO_4$ N/10 utilisé,
 V_2 = volume $KMnO_4$ N/10 restant,
 F = poids des fibres.

II.2.4.4 - Conditions de traitement choisies pour l'étude de variabilité de rendements

Conditions choisies pour traiter les échantillons à la cuisson

Kraft :

- 23 % Alkali-Actif,
- 20 % Sulfidité,
- 4 rapport $\frac{\text{Liquide}}{\text{Bois}}$.

Elles correspondent à celles utilisées dans l'industrie et sont reportée dans le graphique de la figure n° 16 . Ces conditions de cuisson ont déjà donné un rendement satisfaisant (46 %) et un indice de permanganate acceptable.

Le matériel végétal utilisé se compose de 112 carottes de sondage provenant des quatre stations déjà décrites. Elles ont reçu le même traitement sous des conditions de température-temps semblables à celles qui ont été adoptées pour l'expérience précédente.

...

II.2.5 - METHODE D'ANALYSE STATISTIQUE DES RESULTATS

II.2.5.1 - Corrections

Une étude de correction a été faite pour rendre compte des variations de l'aspect des cernes et de l'humidité dans les échantillons conformément à ce qui est prévu dans la norme (A. F. NOP) et corriger éventuellement les caractères en question, si des corrélations existent, pour les rendre à un état normalisé.

A cet effet, trois analyses de régression ont été faites :

1°) régression en fonction de l'angle α_1 de la charge de rupture en flexion statique, de la charge maximale en compression de flanc et du module d'élasticité en flexion statique (voir figure 2) ;

2°) régression en fonction de l'angle α_2 de la charge de rupture en compression axiale et le module d'élasticité en compression axiale (voir figure 2) ;

3°) régression en fonction de l'humidité restant dans les éprouvettes de toutes les caractéristiques mécaniques.

Le tableau ci-dessous donne les résultats de régression sous forme d'équations, desquelles on peut corriger, au fur et à mesure, les valeurs données par les essais mécaniques.

Caractères corrigés	Equations de la régression
Charge de rupture en flexion statique $(X_{(41)})$	$\bar{X}_{(41)} = X_{(41)} - 2,21^* (12 - X_{22})$
Charge de rupture en compression axiale $(X_{(42)})$	$\bar{X}_{(42)} = X_{(42)} - 3,38^* (12 - X_{22}) - 4,59^* (-\alpha_2)$
Charge maximale en compression de flanc $(X_{(43)})$	$\bar{X}_{(43)} = X_{(43)} + 1,42^* (12 - X_{22}) - 3,52^* (-\alpha_1)$
Module d'élasticité en flexion statique $(X_{(44)})$	$\bar{X}_{(44)} = X_{(44)} - 141,98^* (12 - X_{22})$
Flèche de rupture de flexion statique $(X_{(46)})$	$\bar{X}_{(46)} = X_{(46)} + 1,79^* (12 - X_{22})$

Equations des régressions de la correction

$\bar{X}$: valeur corrigée du caractère

X : valeur mesurée du caractère

X_{22} : valeur donnée de l'humidité

α_1, α_2 : angle des cernes et fil du bois

II.2.5.2 - Corrélations

La corrélation est exprimée par le coefficient de corrélation simple (r) qui peut être donné par la formule suivante :

$$r = \frac{\sum (x - mx) (y - my)}{\sqrt{\sum (x - mx)^2 \sum (y - my)^2}} \quad \text{où}$$

mx, my désignent les moyennes observées de x et y.

Au cas où la liaison est significative, le coefficient de corrélation mesure l'intensité de liaison linéaire.

a) Corrélation faite entre les caractères mesurés sur les carottes de sondage :

1°) entre 12 caractères de (X_8 à X_{19}) au niveau général sur 112 couples de valeur pour chaque caractère ;

2°) entre les mêmes à l'intérieur de chacune des 4 stations sur 28 couples ;

3°) entre le poids du bois utilisé pour la microcuisson et le rendement en fibres sur 112 couples.

b) Corrélations faites entre les caractères mesurés sur les éprouvettes normalisées et parallélépipédiques radiographiées :

1°) entre 28 caractères de (X_{20} à X_{47}), au niveau général, sur 465 couples de mesure pour chaque caractère ;

2°) entre les mêmes à l'intérieur de chacune des 4 stations sur 98, 110, 123 et 134 couples de mesure pour les stations A, B, C et D.

c) Corrélations faites entre les caractères individuels des arbres de (X_1 - X_7) et tout l'ensemble des caractères :

1°) au niveau général sur 465 couples de mesure pour chaque caractère ;

2°) à l'intérieur d'une station.

d) Droite de régression

La droite de régression rend compte de l'explication de y par x, elle passe par le centre de gravité de nuage des points et rend minimum la somme des carrés des écarts des points à cette droite, comptés parallèlement à l'axe d'ordonné (cas de la variation x en fonction de y).

Pour tracer les droites de régression, nous nous sommes servis de l'équation de régression pour chaque droite :

$$\begin{aligned} y &= b_{y/x} (x - m_x) + m_y \\ x &= b_{x/y} (y - m_y) + m_x \end{aligned} \quad \text{où}$$

$$b_{y/x} = \text{le coefficient de régression de y en x} = r \frac{\sigma_y}{\sigma_x}$$

$$b_{x/y} = \text{le coefficient de régression de x en y} = r \frac{\sigma_x}{\sigma_y}$$

σ = écart type

r = coefficient de corrélation

...

II.2.5.3 - Comparaison des moyennes par l'analyse de la variance

L'analyse de variance a été faite sous trois modèles :

a) analyse de variance de 3 facteurs contrôlés (2 orientations, 2 roches-mères et 2 altitudes) orthogonaux avec des interactions qui peuvent être modalisées par l'équation suivante :

$$Y_{ijkl} = \mu + O_i + R_j + A_k + (OR)_{ij} + (OA)_{ik} + (RA)_{jk} + (O.R.A)_{ijk} + C_{ijkl}$$

Cette analyse a été faite sur les caractères mesurés sur les carottes de sondage.

b) analyse de variance de 2 facteurs contrôlés (3 positions internes, 4 stations) non orthogonaux, sans interaction, elle a été faite sur les caractères mesurés sur les éprouvettes normalisées et sur des échantillons parallélépipédiques radiographiés pour permettre de faire les comparaisons des moyennes deux à deux entre les stations et entre les positions internes (niveau de rayon). On peut schématiser les variances par l'équation suivante :

$$Y_{ij} = \mu + P_i + S_j + C_{ij}$$

c) analyse de variance de 3 facteurs contrôlés (3 positions internes, 2 roches-mères et 2 altitudes) non orthogonaux avec interactions. Elle a été faite sur les mêmes caractères et sur les mêmes échantillons donnés auparavant ; donc, on peut schématiser l'analyse par l'équation suivante :

$$Y_{ijkl} = \mu + P_i + R_j + A_k + (PR)_{ij} + (PA)_{ik} + (RA)_{jk} + C_{ijkl}$$

On trouve dans les équations présentées :

Y = valeur observée

μ = moyenne générale

O, P, S, R.A = facteurs contrôlés (4 orientations, 3 positions internes, 4 stations, 2 roches-mères, 2 altitudes)

(OR), (OA)etc. = interactions (orientation x roche-mère, orientation x altitude...)

L'analyse de la variance donne le test F de FISCHER et SENDEOR qui indique :

1°) pour un risque consenti (5 ou 1 %), dans le cas où le facteur contrôlé est constitué de deux niveaux de populations comme le facteur roche-mère et le facteur altitude que les deux moyennes sont statistiquement différentes ou non (cas de F qui est significatif) ;

2°) pour un risque consenti, dans le cas où le facteur contrôlé est constitué de plus de deux niveaux, comme les facteurs orientation, positions internes (rayon) et station, que les moyennes des niveaux du facteur sont différentes globalement ou non.

Si le test F global est significatif, il est nécessaire de le compléter par le test t de FISCHER (VESSEREAU 1960) de comparaison des moyennes, afin de mettre en évidence si les niveaux 2 à 2 sont identiques ou significativement différents.

...

III - RESULTATS

III.1 - PRESENTATION DES RESULTATS MOYENS DES ESSAIS MECANQUES, PHYSIQUES ET MICRODENSITOMETRIQUES DES STATIONS

Les valeurs moyennes et leurs écarts-types sont regroupés dans des tableaux par station. A la fin de ceux-ci, on trouve la moyenne générale ($\bar{G}$) des caractéristiques mécaniques, de toutes les stations, qui représente donc les valeurs moyennes du peuplement de *Pinus brutia* dans cette région.

L'aspect général des variations entre les stations, est donné par un diagramme pour chaque caractère. Les stations sont en abscisses et les valeurs moyennes en ordonnées

Ces résultats nous indiquent uniquement l'apparence de la variabilité ou de l'homogénéité des caractères dans les différentes populations sans avoir de signification statistique. A ce stade, on ne peut savoir si l'hypothèse qu'il existe des différences entre les quatre stations est fondée ou non.

Les calculs de variance, qui seront présentés plus loin, dans le chapitre de l'"influence du facteur station", pourront nous aider à vérifier cette hypothèse.

III.1.1 - PRESENTATION DES RESULTATS MOYENS DES ESSAIS MECANQUES

III.1.1.1 - Résistance à la flexion statique

Nous trouvons que la charge de rupture varie sensiblement entre les stations. La première "A" a donné la valeur moyenne la plus élevée (50,7 kg/cm²) et la deuxième "B" la plus basse (44,2 kg/cm²).

Parmi les arbres, c'est l'arbre n° 2, de la première station (A) qui a donné la charge maximale absolue (57,0 kg/cm²) tandis que la charge la plus faible a été donnée par l'arbre n° 3 de la station "B" (34,1 kg/cm²).

Le module d'élasticité varie positivement avec la charge : plus elle est grande, plus le module d'élasticité est élevé et les valeurs extrêmes ont été données encore par les mêmes arbres 2 A et 3 B.

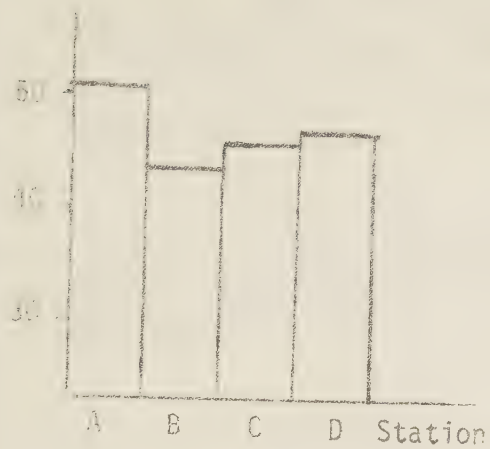
N° tation	N° arbre	Charge de rupture de flexion statique Kg/cm2		Flèche de rupture de flexion statique m.m.		Module d'élasticité de flexion statique Kg/cm2		Module d'élasticité longitudinal en compression axiale Kg/cm2		Charge de rupture de com- pression axiale Kg/cm2		Charge max. de compres- sion de flanc Kg/cm2	
		$\bar{x}$	$\sqrt{x}$	$\bar{x}$	$\sqrt{x}$	$\bar{x}$	$\sqrt{x}$	$\bar{x}$	$\sqrt{x}$	$\bar{x}$	$\sqrt{x}$	$\bar{x}$	$\sqrt{x}$
(1) A	1	52,4	6,6	16,7	1,8	80 580	15 530	59 870	21 220	570	78	242	17
	2	57,0	5,3	16,1	2,0	90 570	9 980	169 250	81 250	599	29	219	17
	3	48,4	10,3	16,9	2,6	90 910	2 675	76 690	42 950	593	67	252	39
	4	47,4	5,2	15,5	1,5	81 640	10 440	63 600	24 620	535	64	184	22
	5	50,6	5,0	15,6	1,6	78 160	9 540	87 700	84 810	534	40	211	31
	6	53,2	7,6	18,1	1,6	74 730	25 710	39 710	6 700	562	65	223	30
	7	38,7	8,1	16,6	1,9	48 290	12 610	46 380	12 600	453	66	219	23
	$\bar{A}$	50,7	9,5	16,6	2,0	76 530	22 180	75 910	62 230	546	76	220	32
(2) B	1	49,9	5,0	17,5	1,8	74 860	10 140	49 050	8 140	508	46	208	15
	2	53,1	4,9	15,5	1,2	80 410	14 400	104 510	64 570	561	41	191	17
	3	34,1	3,9	29,9	10,1	23 220	14 200	91 360	108 280	365	37	234	42
	4	35,0	6,8	15,7	2,4	35 380	12 880	78 830	42 500	399	45	204	23
	5	45,6	3,4	13,9	1,7	85 370	10 810	85 000	55 420	539	41	183	11
	6	45,0	7,4	16,9	1,2	60 120	18 320	43 350	10 440	471	75	221	19
	7	49,2	7,6	16,1	1,4	8 190	20 910	77 250	38 080	546	65	231	21
	$\bar{B}$	44,2	9,1	17,5	5,9	61 700	27 070	77 560	57 950	481	87	208	27
(3) C	1	40,3	5,4	14,3	2,1	60 700	14 070	35 920	8 820	477	47	178	20
	2	51,2	4,8	17,3	1,4	84 700	13 100	71 380	27 370	557	60	230	31
	3	52,1	7,4	17,9	3,0	70 030	16 640	52 470	17 760	576	51	255	34
	4	42,2	6,7	18,0	1,7	71 330	24 300	73 880	25 540	531	54	208	27
	5	40,4	3,8	17,5	1,5	52 870	10 370	63 380	23 430	472	49	214	17
	6	49,4	10,9	16,6	2,1	74 220	22 100	77 410	37 940	562	79	259	31
	7	48,8	3,5	17,7	1,1	66 150	13 800	62 340	23 420	504	35	221	18
	$\bar{C}$	46,5	8,1	17,1	2,2	69 240	19 520	63 640	28 010	530	67	226	36
(4) D	1	40,6	7,2	16,4	3,3	49 410	15 790	56 010	27 410	453	33	195	29
	2	38,6	4,5	16,7	3,1	46 650	12 180	34 630	7 900	464	38	213	30
	3	51,5	6,9	16,8	1,8	75 210	15 160	76 440	22 340	533	55	184	15
	4	56,9	4,1	17,6	2,1	82 670	8 110	63 550	24 140	597	49	235	25
	5	48,6	5,9	17,3	1,9	59 370	17 120	62 380	15 620	515	33	179	15
	6	46,6	8,4	16,4	1,4	69 310	13 930	46 140	18 700	525	56	206	23
	7	52,5	6,9	24,7	3,3	82 780	11 420	85 800	25 170	532	65	203	28
	$\bar{D}$	47,1	8,7	17,6	1,1	64 880	19 270	58 460	25 670	513	64	202	29
	$\bar{G}$	47,0	9,1	17,3	3,0	67 740	22 570	68 030	45 380	517	76	213	33

Tableau n° 11

Moyennes et écarts-types par arbre, par station et pour la population générale
de toutes stations réunies, pour les caractères mécaniques

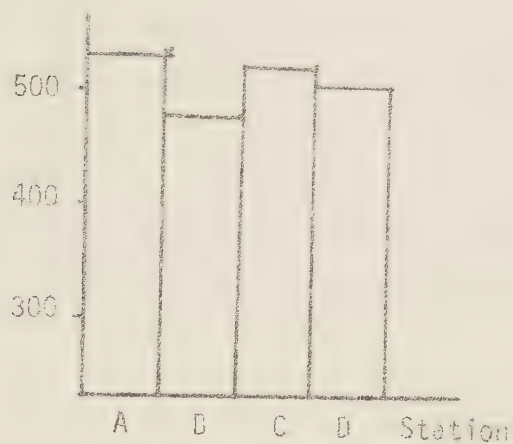
B, C, D : Stations
Toutes stations réunies
Moyenne
Ecart-type

F. en flexion statique
kg/cm²



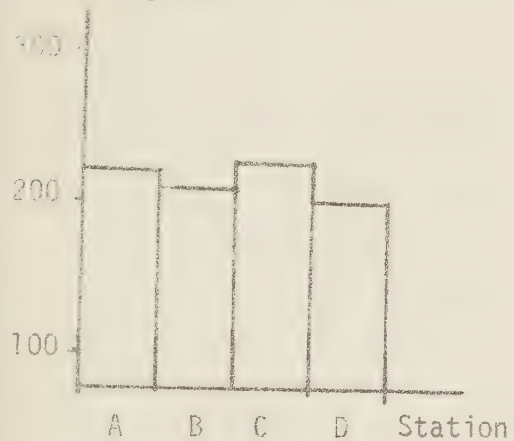
(1)

P. en compression axiale
kg/cm²



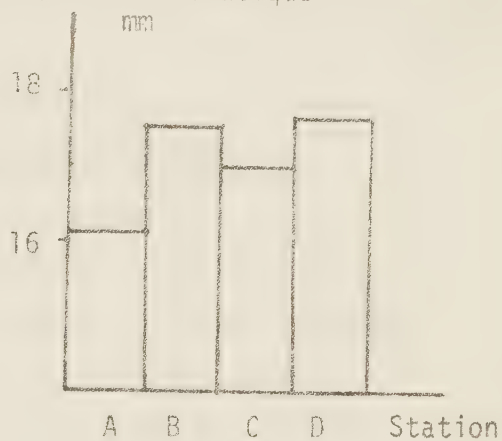
(2)

en compression de flanc
kg/cm²



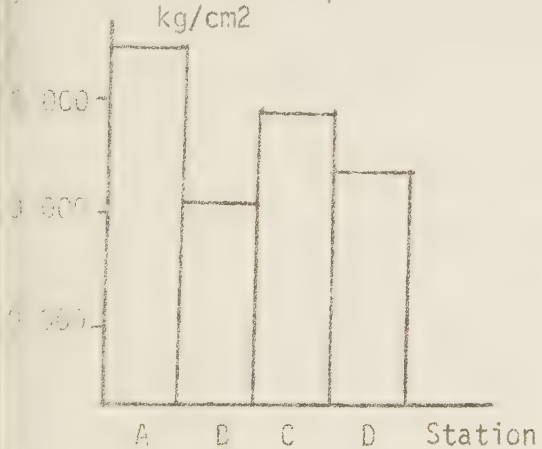
(3)

Fr en flexion statique
mm



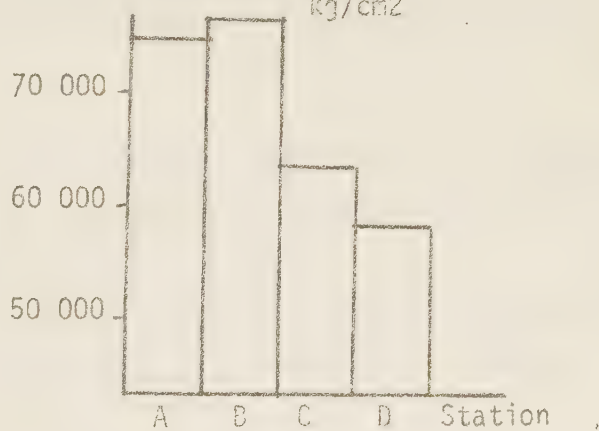
(4)

E. en flexion statique
kg/cm²



(5)

E. en compression axiale
kg/cm²



(6)

FIGURE n° 12 = DIAGRAMMES PRESENTANT LES MOYENNES DES STATIONS
POUR LES CARACTERISTIQUES MECANQUES

P = charge de rupture - E = module d'élasticité - Fr = flèche à la rupture

Mais les écarts-types varient de façon inverse : ils sont plus élevés dans les stations A et B (62 230 - 57 950 kg/cm²) que dans les stations C et D (28 010 - 25 670 kg/cm²) ce qui témoigne d'une différence entre les arbres les meilleurs dans les deux premières stations.

Cette variabilité ne semble avoir aucune relation avec la charge de rupture, par exemple dans la station A :

- l'arbre n° 2 a donné une charge maximum de rupture de 599 kg/cm² et un module d'élasticité de 169 250 kg/cm²,
- l'arbre n° 6 a donné une charge maximum de rupture de 562 kg/cm² et un module d'élasticité de 39 710 kg/cm².

La différence entre les charges est très faible par rapport à celle des modules d'élasticité, à l'inverse de ce qu'on a trouvé en flexion statique.

III.1.1.3 - Résistance à la compression de flanc (dureté)

Les valeurs moyennes : diagramme n° 3 de la figure (12) montrent qu'il n'y a pas de grandes différences entre les stations pour ce caractère mécanique, sauf une légère supériorité des stations A et C (220 kg/cm², 226 kg/cm²) vis à vis de B et D (208 kg/cm², 202 kg/cm²). Ce sont les deux stations de haute altitude qui présentent la dureté du bois la plus élevée, quelle que soit, semble-t-il, la roche-mère ou le sol.

...

III.1.2 - PRESENTATION DES RESULTATS MOYENS DES ESSAIS PHYSIQUES

III.1.2.1 - Largeur des cernes

Malgré les nombres inégaux d'échantillons et les différents procédés de mesure entre les deux types d'échantillons, les variations de la largeur des cernes entre les stations sont identiques dans les deux cas : les diagrammes (1, 4) de la figure n° 13 sont presque les mêmes, c'est-à-dire que les variations mesurées sont celles et dues à des conditions de croissance différentes.

La station B a donné les moyennes les plus élevées : 3,34 mm pour les carottes de sondage, tableau n° 12a, avec un écart-type de 1,00 mm (pas très différent de celui des autres stations) et 4,06 mm pour les échantillons parallélépipédiques, tableau n° 12b, avec un écart-type un peu plus élevé que les autres (1,54 mm).

Ceci est dû, en particulier, à l'arbre n° 4. Les moyennes les plus basses sont données par la station A avec 1,64 mm et 2,38 mm.

III.1.2.2 - Infradensité

Il y a deux moyennes pour ce caractère, chacune présente la moyenne des valeurs d'un type d'échantillons : la première concerne les résultats des carottes de sondage, la deuxième ceux des échantillons parallélépipédiques.

Les résultats présentés dans les deux cas sont très semblables : diagrammes (2, 5) de la figure n° 13.

Les mesures faites sur les carottes de sondage portent sur les quinze dernières années.

Il n'y a pas de grandes différences entre les stations sauf B qui a donné les moyennes les plus faibles : 469 et 450 g/dm³, tableau n° 12 et qui est celle dont la largeur des cernes est la plus forte.

...

* Le nombre des échantillons est :

- 28 carottes par station (4 par arbre),
- 98 et 134 échantillons parallélépipédiques (9 à 23 par arbre).

N° station	Arbre-station caractère	Largeur de cerne mm		Infra densité ρ/dm^3		% de teneur en résine	
		$\bar{x}$	$\sqrt{x}$	$\bar{x}$	$\sqrt{x}$	$\bar{x}$	$\sqrt{x}$
(1) A	1	1,50	0,29	500	14	3,2	0,3
	2	1,77	0,49	520	3	5,2	1,9
	3	0,86	0,20	502	32	7,0	1,9
	4	1,14	0,28	462	14	5,3	3,6
	5	1,38	0,34	520	24	7,7	3,8
	6	3,16	0,64	494	20	4,4	2,0
	7	1,71	0,18	491	25	8,8	3,7
	$\bar{A}$	1,64	0,77	498	26	5,9	3,0
(2) B	1	2,99	0,14	484	10	6,8	1,8
	2	1,80	0,11	484	6	4,5	0,9
	3	3,99	0,84	439	14	6,7	5,4
	4	3,10	0,53	443	30	9,4	3,2
	5	3,35	0,56	486	29	4,7	1,0
	6	3,39	0,47	462	10	6,2	2,9
	7	4,76	0,93	489	15	4,3	0,1
	$\bar{B}$	3,34	1,00	469	26	6,1	2,9
(3) C	1	1,54	0,25	412	13	4,7	0,3
	2	2,81	0,50	547	24	5,1	0,5
	3	2,17	0,48	530	38	6,5	2,5
	4	3,66	0,44	492	11	4,1	3,4
	5	2,19	0,29	449	3	7,0	3,0
	6	2,31	0,51	531	28	4,4	0,7
	7	1,97	0,46	492	45	7,0	4,2
	$\bar{C}$	2,38	0,74	493	52	5,5	2,5
(4) D	1	2,06	0,35	462	22	6,0	0,8
	2	1,97	0,51	475	13	6,9	2,3
	3	2,48	0,13	474	13	5,5	2,8
	4	1,32	0,24	518	12	6,5	2,6
	5	0,94	0,24	477	16	5,2	1,1
	6	1,94	0,33	522	31	3,6	0,4
	7	1,39	0,36	492	2	8,5	3,1
	$\bar{D}$	1,73	0,57	488	27	6,1	2,4
	$\bar{G}$	2,28	1,03	487	36	5,9	2,7

Tableau n° 12a

Moyennes et écarts-types par arbre, par station et pour la population générale de toutes les stations réunies, pour les caractéristiques physiques, mesurés sur carottes de sondage

N° station	N° d'arbre	(1) Largeur de cerne mm		(2) Infradensité g/dm ³		(3) % humidité		(4) Retrait radial saturé-sec 15		(5) Retrait radial sec 15-anhydre		(6) Retrait radial saturé-anhydre	
		$\bar{x}$	$\sqrt{x}$	$\bar{x}$	$\sqrt{x}$	$\bar{x}$	$\sqrt{x}$	$\bar{x}$	$\sqrt{x}$	$\bar{x}$	$\sqrt{x}$	$\bar{x}$	$\sqrt{x}$
(1) A	1	2,11	0,72	502	13	10,2	0,8	3,18	0,56	1,82	0,58	5,07	1,14
	2	2,18	0,82	502	28	9,7	0,3	3,79	0,50	2,14	0,52	4,79	1,12
	3	2,17	0,37	520	21	9,3	0,9	3,26	0,73	2,46	0,51	5,81	1,24
	4	1,50	0,35	450	15	9,2	0,2	3,00	0,29	2,39	0,29	5,48	0,38
	5	2,11	0,46	471	14	8,8	0,5	3,31	0,34	2,66	0,47	6,06	0,46
	6	2,69	0,63	483	14	8,9	0,3	2,98	0,43	2,12	0,65	5,21	0,83
	7	3,47	0,94	472	32	8,0	0,3	2,33	0,57	1,83	0,44	4,22	0,97
	$\bar{A}$	2,38	0,88	484	30	9,0	0,8	2,94	0,59	2,20	0,57	5,20	1,07
(2) B	1	3,05	0,55	466	16	9,1	0,2	2,63	0,21	1,94	0,27	4,68	0,36
	2	2,36	0,62	462	26	9,2	0,2	2,42	0,41	2,12	0,29	4,66	0,64
	3	5,34	1,09	446	21	10,4	0,7	2,27	0,51	1,82	0,38	4,16	0,75
	4	5,60	1,73	431	17	9,3	0,6	1,96	0,48	1,84	0,43	3,89	0,86
	5	3,92	0,74	433	14	10,2	0,1	2,61	0,67	1,83	0,38	4,59	0,65
	6	3,65	0,48	455	19	9,2	0,3	2,41	0,41	1,77	0,50	4,23	0,72
	7	4,28	0,96	474	10	9,9	0,2	3,01	0,19	1,81	0,20	4,91	0,27
	$\bar{B}$	4,06	1,54	450	24	9,6	0,6	2,42	0,54	1,88	0,38	4,40	0,74
(3) C	1	2,48	0,69	517	16	9,7	0,4	2,81	0,42	1,74	0,34	4,60	0,44
	2	2,54	0,65	499	40	8,3	0,2	2,62	0,49	2,29	0,42	4,98	0,86
	3	2,57	0,61	513	36	9,5	0,4	2,59	0,92	1,97	0,66	4,62	1,52
	4	3,42	1,19	476	31	7,5	0,4	2,78	0,66	2,30	0,67	5,12	0,92
	5	2,63	0,56	467	22	8,0	0,2	2,44	0,58	1,91	0,61	4,41	1,15
	6	3,00	0,67	496	21	8,5	0,4	2,94	0,74	2,02	0,44	5,03	1,03
	7	2,57	0,91	472	18	8,4	0,3	2,55	0,62	2,06	0,45	4,68	0,93
	$\bar{C}$	2,79	0,66	479	38	8,5	0,8	2,69	0,67	2,06	0,56	4,81	1,05
(4) D	1	2,47	1,08	447	31	9,0	0,8	2,09	0,59	1,62	0,37	3,79	0,97
	2	3,13	0,95	448	29	9,3	0,6	1,89	0,68	1,73	0,45	3,66	1,10
	3	2,30	0,40	439	18	8,9	0,3	2,81	0,29	2,32	0,36	5,21	0,50
	4	1,77	0,28	502	13	9,6	0,5	3,44	0,22	2,95	0,40	6,50	0,50
	5	1,21	0,43	448	22	9,5	0,5	1,94	0,75	1,85	0,55	3,85	1,23
	6	3,72	1,60	457	22	8,9	0,5	3,10	0,68	1,90	0,46	5,07	1,03
	7	3,48	0,91	465	18	9,5	0,2	2,56	0,42	2,08	0,44	4,70	0,79
	$\bar{D}$	2,62	1,26	456	29	9,2	0,6	2,52	0,79	2,03	0,59	4,61	1,30
	$\bar{G}$	2,96	1,33	467	34	9,1	0,8	2,63	0,69	2,04	0,54	4,74	1,10

Tableau n° 12b

Moyennes des caractéristiques physiques par arbre, par station et pour la population générale, mesurées sur les éprouvettes normalisées

...

N° station	N° d'arbre	(1)		(2)		(3)		(4)		(5)		(12)	
		% retrait axial saturé- sec 15		% retrait axial sec 15- anhydre		% retrait axial saturé- anhydre		% retrait tangential saturé- sec 15		% retrait tangential sec 15- anhydre		% retrait tangential saturé- anhydre	
		$\bar{x}$	$\sqrt{x}$	$\bar{x}$	$\sqrt{x}$	$\bar{x}$	$\sqrt{x}$	$\bar{x}$	$\sqrt{x}$	$\bar{x}$	$\sqrt{x}$	$\bar{x}$	$\sqrt{x}$
(1) A	1	0,19	0,24	0,20	0,19	0,33	0,47	5,39	0,75	3,09	0,46	8,65	1,15
	2	0,15	0,16	0,16	0,16	0,29	0,22	4,52	1,01	2,91	0,45	7,58	1,44
	3	0,28	0,41	0,33	0,32	0,37	0,24	4,95	0,80	2,88	0,56	7,96	1,16
	4	0,12	0,10	0,13	0,11	0,14	0,15	4,46	0,49	2,57	0,37	7,16	0,57
	5	0,08	0,06	0,12	0,10	0,16	0,07	5,44	0,99	2,66	0,28	8,26	1,00
	6	0,13	0,11	0,20	0,16	0,14	0,24	4,79	0,82	2,64	0,59	7,60	1,17
	7	0,22	0,19	0,10	0,13	0,32	0,33	4,29	1,10	2,64	0,46	7,09	1,32
	$\bar{A}$	0,17	0,21	0,17	0,18	0,24	0,27	4,78	0,95	2,74	0,48	7,68	1,22
(2) B	1	0,07	0,08	0,03	0,04	0,02	0,03	5,08	0,25	2,99	0,23	8,27	0,35
	2	0,03	0,07	0,12	0,35	0,12	0,33	4,54	1,02	2,98	0,38	7,73	1,35
	3	0,24	0,36	0,42	0,32	0,64	0,48	4,38	0,78	2,40	0,64	6,93	1,31
	4	0,16	0,26	0,19	0,17	0,35	0,41	4,23	0,76	2,54	0,46	6,95	1,12
	5	0,08	0,18	0,10	0,09	0,15	0,17	4,88	0,40	2,62	0,42	7,68	0,41
	6	0,12	0,13	0,15	0,16	0,19	0,29	5,39	0,40	2,88	0,75	8,44	1,01
	7	0,05	0,03	0,12	0,10	0,13	0,10	5,42	0,26	3,07	0,35	8,67	0,51
	$\bar{B}$	0,11	0,20	0,16	0,23	0,23	0,36	4,77	0,79	2,76	0,53	7,72	1,16
(3) C	1	0,08	0,08	0,18	0,18	0,18	0,16	4,75	0,47	2,85	0,26	7,75	0,69
	2	0,18	0,14	0,10	0,08	0,12	0,12	5,04	0,87	2,75	0,64	7,94	0,96
	3	0,30	0,21	0,17	0,13	0,42	0,37	4,13	1,22	2,21	0,47	6,45	1,55
	4	0,29	0,15	0,11	0,20	0,34	0,27	4,93	1,17	2,95	0,88	8,04	1,53
	5	0,42	0,22	0,12	0,07	0,44	0,28	4,07	0,90	2,53	0,46	6,72	1,20
	6	0,23	0,17	0,16	0,12	0,23	0,23	4,83	1,00	2,47	0,48	7,44	1,28
	7	0,25	0,10	0,13	0,14	0,31	0,24	4,79	0,94	3,29	0,56	8,25	1,48
	$\bar{C}$	0,26	0,18	0,14	0,14	0,30	0,27	4,66	1,04	2,70	0,66	7,50	1,43
(4) D	1	0,36	0,15	0,14	0,10	0,36	0,29	3,99	1,11	2,68	0,53	6,80	1,54
	2	0,26	0,22	0,33	0,26	0,51	0,51	3,83	1,33	2,29	0,40	6,23	1,68
	3	0,08	0,05	0,13	0,08	0,06	0,05	4,65	0,34	2,46	0,58	7,24	0,60
	4	0,12	0,08	0,11	0,08	0,09	0,09	5,21	0,53	3,09	0,70	8,46	0,93
	5	0,21	0,15	0,18	0,15	0,40	0,28	3,36	0,91	2,46	0,37	5,91	1,22
	6	0,10	0,12	0,19	0,16	0,27	0,27	4,74	0,60	2,52	0,58	7,38	0,82
	7	0,20	0,10	0,09	0,07	0,22	0,13	4,82	0,59	2,69	0,35	7,65	0,70
	$\bar{D}$	0,19	0,16	0,18	0,17	0,29	0,32	4,33	1,04	2,57	0,55	7,02	1,38
	G	0,18	0,19	0,16	0,18	0,27	0,31	4,62	0,98	2,69	0,57	7,45	1,34

N° station	N° d'arbre	13		14		15	
		Retrait volumétrique saturé-sec 15		Retrait volumétrique sec 15-anhydre		Retrait volumétrique saturé-anhydre	
		$\bar{x}$	$\sqrt{x}$	$\bar{x}$	$\sqrt{x}$	$\bar{x}$	$\sqrt{x}$
(1) A	1	8,87	1,07	5,17	0,79	14,51	1,90
	2	7,55	1,46	5,21	0,77	12,99	2,22
	3	8,64	1,46	5,53	1,01	14,64	2,29
	4	7,72	0,75	5,03	0,48	13,15	0,74
	5	8,92	1,10	5,51	0,55	14,99	1,23
	6	7,83	1,18	5,02	0,91	13,34	1,69
	7	6,93	1,48	4,57	0,75	11,95	2,03
	$\bar{A}$	7,97	1,40	5,12	0,81	13,52	2,02
(2) B	1	7,91	0,42	5,34	1,34	13,35	0,64
	2	7,06	1,33	5,25	0,70	12,87	1,96
	3	6,99	1,06	4,68	0,74	12,11	1,58
	4	6,43	0,97	4,58	0,65	11,41	1,57
	5	7,66	0,69	4,59	0,49	12,72	0,90
	6	7,87	0,74	4,78	0,93	13,11	1,40
	7	8,54	0,41	5,03	0,33	13,99	0,57
	$\bar{B}$	7,37	1,11	4,87	0,81	12,66	1,59
(3) C	1	7,70	0,67	4,75	0,57	12,91	0,89
	2	7,93	1,30	5,02	0,69	13,40	1,65
	3	7,09	1,94	4,30	0,79	11,78	2,71
	4	8,07	1,61	5,36	1,07	13,80	2,28
	5	6,95	1,35	4,44	0,90	11,78	2,14
	6	8,03	1,63	4,48	0,69	12,94	2,05
	7	7,61	1,37	5,43	0,87	13,50	2,25
	$\bar{C}$	7,65	1,53	4,83	0,91	12,90	2,22
(4) D	1	6,54	1,48	4,37	0,79	11,18	2,33
	2	5,87	1,77	4,28	0,67	10,50	2,38
	3	7,55	0,57	4,61	0,86	12,71	1,00
	4	8,86	0,74	5,95	0,79	15,56	1,24
	5	5,48	1,57	4,48	0,90	10,36	2,34
	6	7,94	0,83	4,54	0,74	12,99	1,36
	7	7,58	0,90	4,75	0,56	12,80	1,35
	$\bar{D}$	7,04	1,64	4,66	0,90	12,17	2,43
	$\bar{G}$	7,48	1,48	4,85	0,88	12,76	2,16

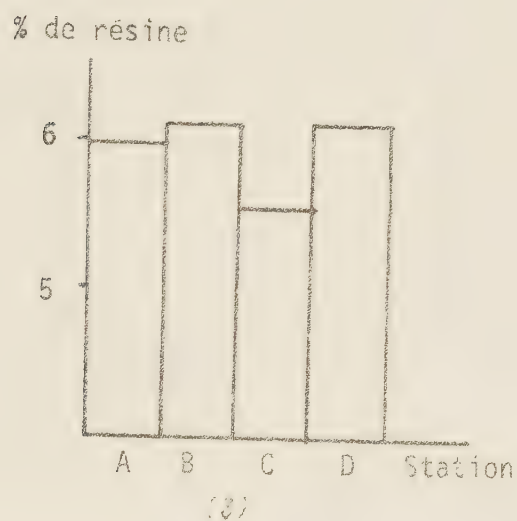
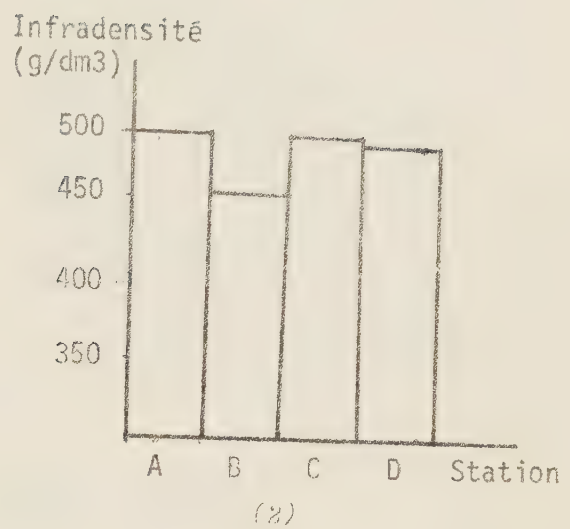
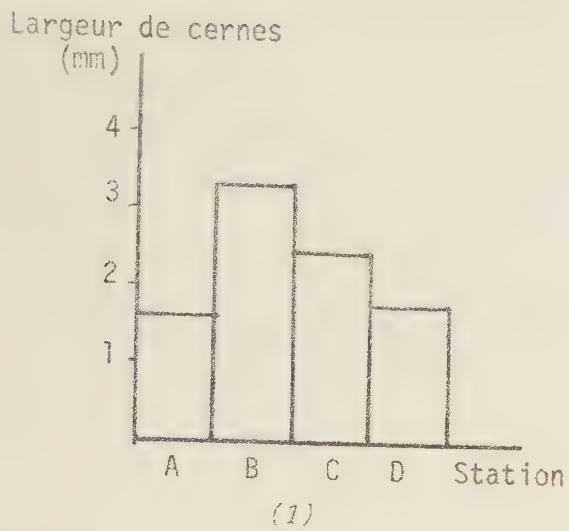


FIGURE n° 13 = DIAGRAMMES PRESENTANT LES MOYENNES DES STATIONS
POUR LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

Diagrammes (1) à (3) = caractéristiques physiques
mesurées sur carottes de sondage

Diagramme (4) : terres en mm

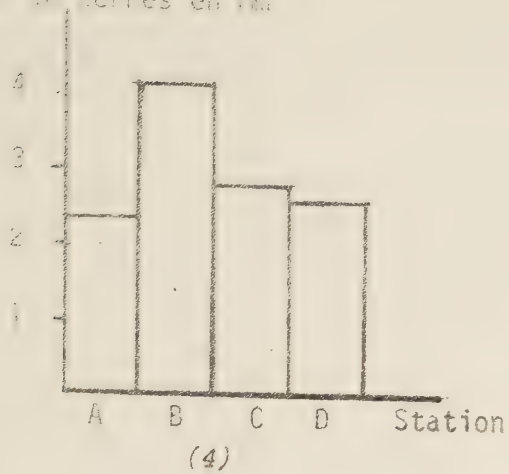


Diagramme (5) : Infra-densité g/dm³

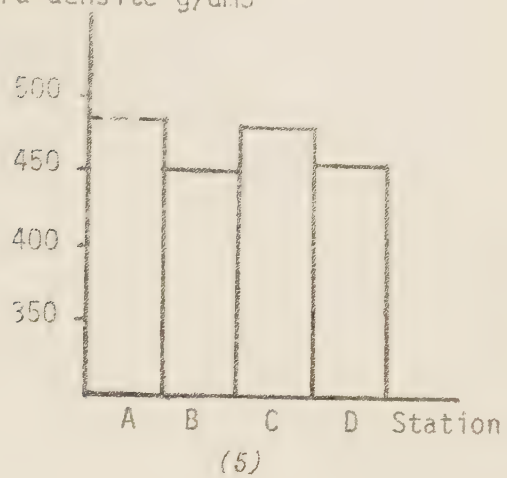


Diagramme (6) : humidité

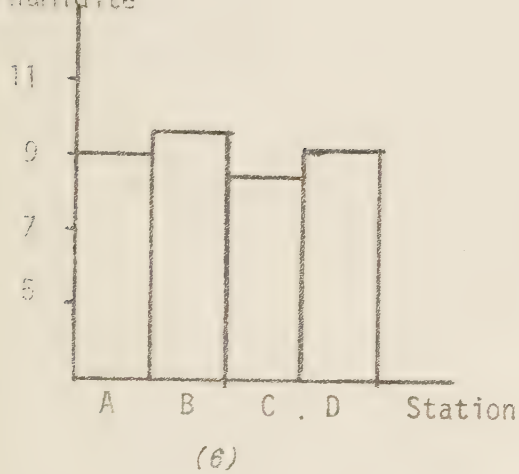


Diagramme (7) : % retrait radial saturé - sec 15

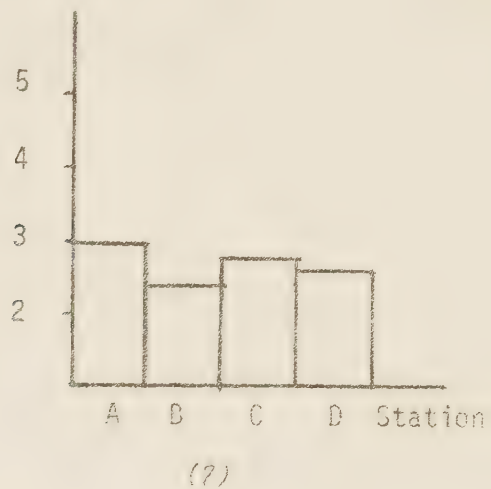


Diagramme (8) : retrait radial 15 - anhydre

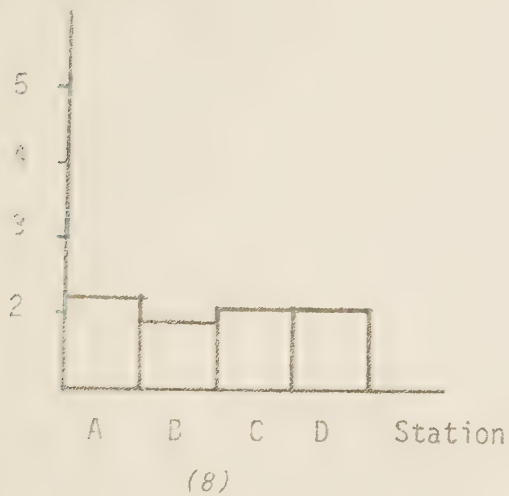
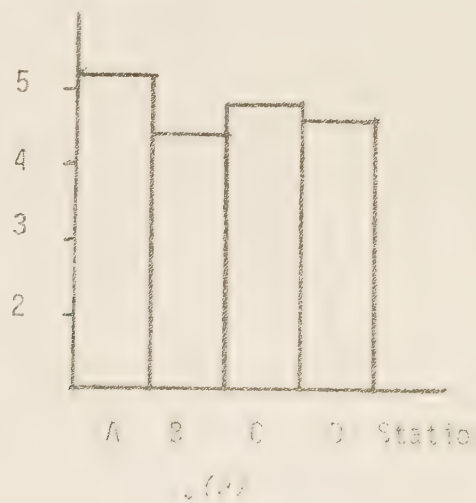
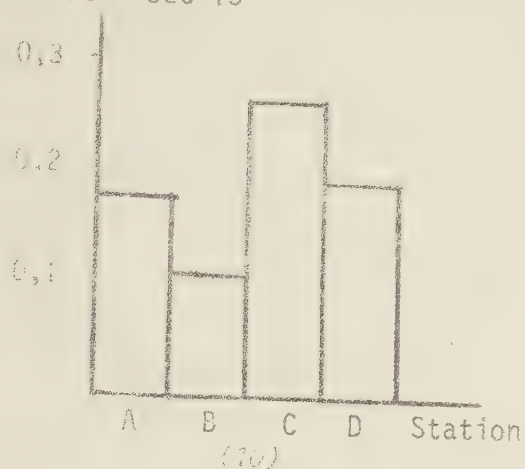


Diagramme (9) : % retrait radial saturé - anhydre

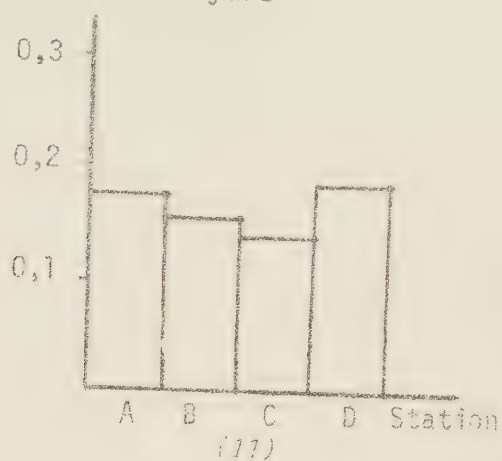


Diagrammes (4) à (18) = caractéristiques physiques mesurées sur échantillons normalisés

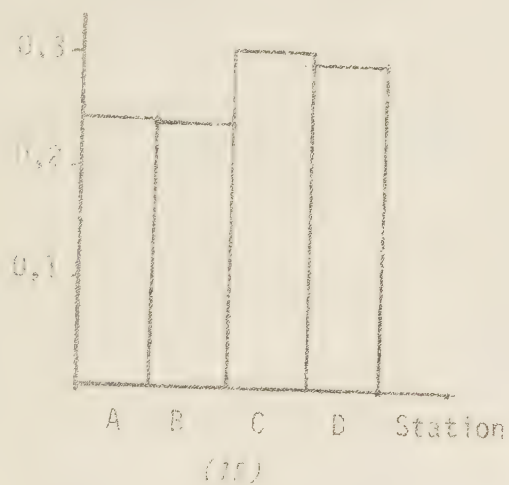
% retrait axial
saturé - sec 15



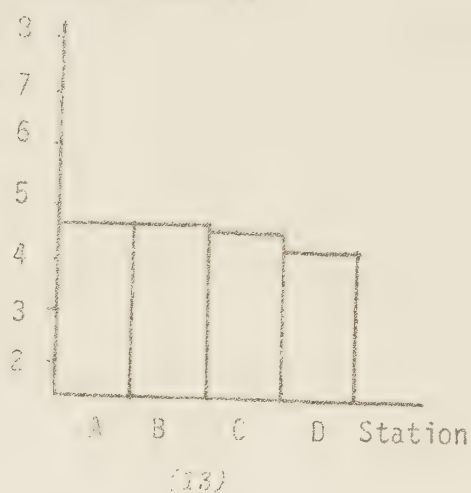
% retrait axial
sec 15 - anhydre



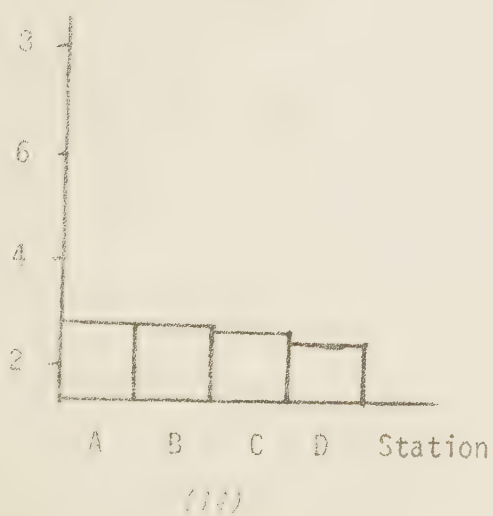
% retrait axial
saturé - anhydre



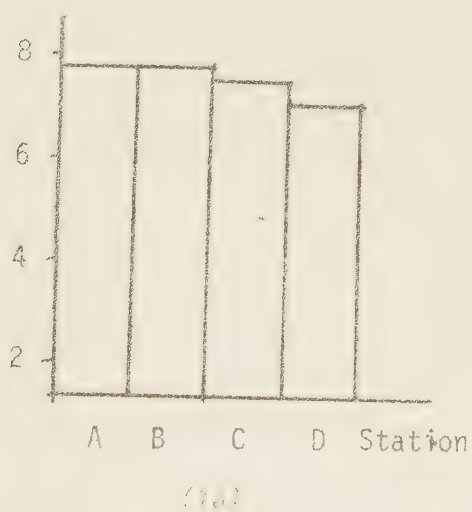
% retrait tangentiel
saturé - sec 15



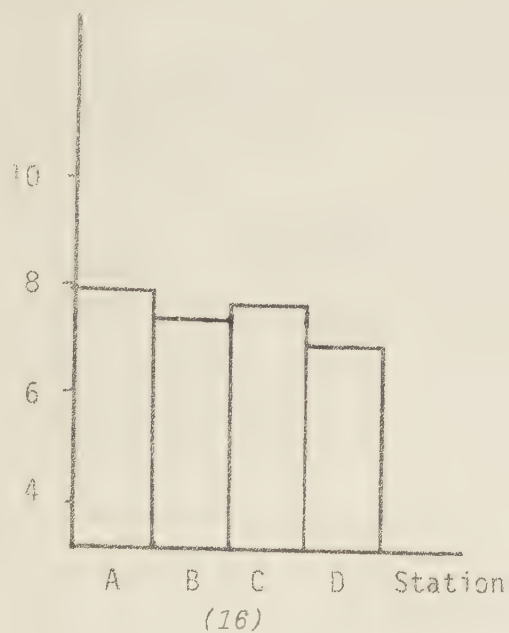
% retrait tangentiel
sec 15 - anhydre



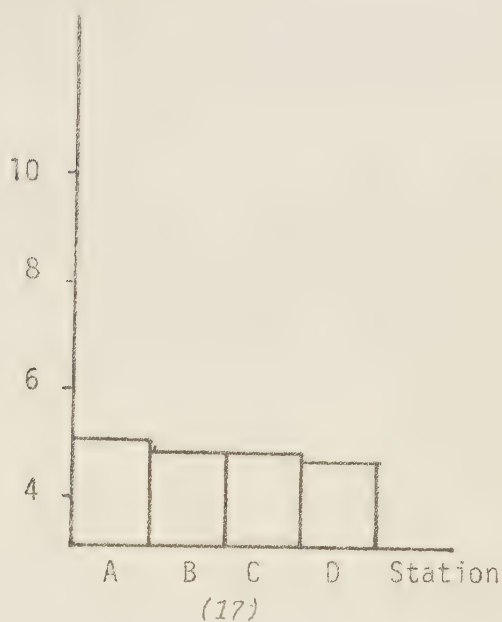
% retrait tangentiel
saturé - anhydre



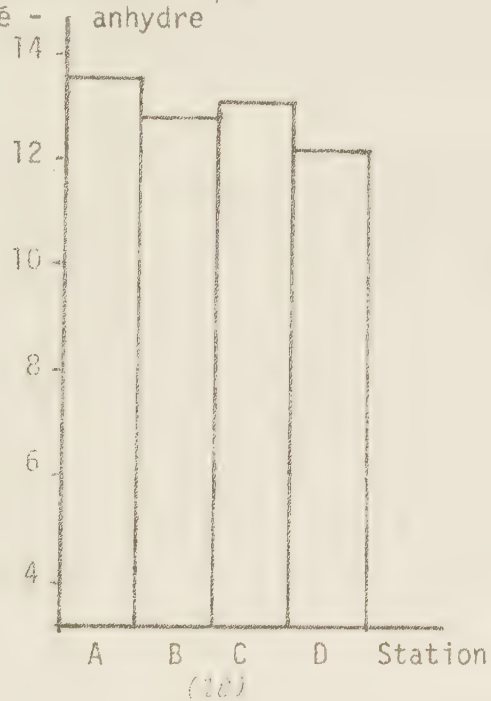
% retrait volumétrique
saturé - sec 15



% retrait volumétrique
sec 15 - anhydre



% retrait volumétrique
saturé - anhydre



III.1.2.3 - Rétractibilité

III.1.2.3.1 - Rétractibilité radiale

Les diagrammes (7, 8, 9) de la figure n°13 nous montrent que le retrait radial ne varie pas beaucoup entre les stations dans les diverses gammes étudiées.

La station B a un retrait plus faible : 2,42 % entre les états saturé et sec à l'air à 15 % humidité, 1,88 % entre les états sec à l'air (à 15 % h) et anhydre et 4,4 % entre les états saturé et anhydre, contre respectivement : 2,94 %, 2,2 % et 5,2 % pour la station A, qui présente les moyennes les plus élevées.

III.1.2.3.2 - Rétractibilité axiale

Le retrait axial est quelquefois négligeable par rapport aux autres, mais il ne doit pas être ignoré quand les échantillons présentent du bois anormal de "compression" qui, chez les résineux, augmente sensiblement ce caractère.

Dans notre étude, le retrait axial n'est généralement pas élevé. Il présente une certaine variation entre les stations surtout entre les états saturé et sec à l'air (à 15 % h) : la station C a donné une moyenne de retrait axial relativement plus grande que les autres : 0,26 %, diagramme 10 de la figure n°13, ce qui pourrait signaler la présence de bois de compression dans quelques échantillons ; entre les états saturé et anhydre, diagramme 12 de la figure n°13, on observe une différence entre les deux stations A et B sur gabros et les stations C et D sur péridotites avec une supériorité de C et D sur A et B. La roche (sol pourrait avoir une influence sur ce caractère.

III.1.2.3.3 - Rétractibilité tangentielle

Les diagrammes (13, 14, 15) de la figure n°13 montrent l'homogénéité du retrait tangentiel dans les quatre stations. Les différences sont très faibles.

III.1.2.3.4 - Rétractibilité volumétrique

Il n'y a pas de différence très nette de retrait volumétrique entre les stations. Le retrait volumétrique étant presque la combinaison des trois retraits linéaires dont le retrait tangentiel est le plus important. Les diagrammes de retrait volumétrique : figure n° 13 ressemblent beaucoup à ceux du retrait tangentiel, d'autant plus que les variations des retraits radiaux, entre les stations, ne sont pas importants et que les retraits axiaux, par rapport aux autres retraits, sont très petits.

...

III.1.3 - PRESENTATION DES RESULTATS MOYENS DES ESSAIS MICRODENSITOMETRIQUES

Pour tous les caractères obtenus à partir de ces essais, nous avons calculé deux moyennes par station ainsi que les moyennes individuelles par arbre.

Une moyenne représente les essais faits sur les carottes de sondage et l'autre les essais faits sur les échantillons parallélépipédiques qui sont en nombre variable dans chaque arbre, comme nous l'avons déjà dit.

III.1.3.1 - Densité maximale

Les résultats des tableaux n° 13a, b et les diagrammes (1, 7) de la figure n° 14, semblent prouver que la densité maximale est très homogène dans les diverses stations. La seule variation notable est observée dans la station A avec échantillons parallélépipédiques où l'on a trouvé une moyenne un peu plus élevée que pour les autres stations : 925 g/dm³ contre 884, 890 et 886 g/dm³.

III.1.3.2 - Densité minimale

Elle est également assez homogène pour toutes les stations (voir tableaux n° 13a, b et diagrammes (2, 8) de la figure n° 14). B a une moyenne un peu inférieure à celle des autres stations pour les deux types d'échantillons : 420 g/dm³ et 421 g/dm³ contre 444 g/dm³ et 456 g/dm³ pour la station A qui présente les moyennes les plus élevées. Mais ces variations ne sont pas très importantes et peut-être ne sont-elles pas significatives.

III.1.3.3 - Ecart entre la moyenne des densités maximales et minimales

Dans les résultats obtenus à partir des carottes de sondage, nous trouvons : diagramme (3) de la figure n° 14 et tableau 13a que A et C ont des moyennes inférieures à B et D : 450 et 457 g/dm³ contre 493 et 467 g/dm³. Ce serait l'altitude, que-le que soit la roche-mère, qui aurait une influence sur l'homogénéité des densités, qui diminuerait quand l'altitude augmente.

Mais les résultats calculés sur le deuxième type d'échantillons (parallélépipédiques) sont différents : les moyennes sont plus homogènes entre stations avec une légère supériorité, toutefois de A sur B et de A et B sur C et D : voir diagramme (9) de la figure n° 14. Il est possible que cette variabilité des résultats donnés par les deux types d'échantillons soit due à la nature des échantillons. Les carottes de sondage ne représentent pas exactement la même zone du tronc que l'ensemble des éprouvettes normalisées.

Carac- tère N° arbre	(1)		(2)		(3)		(4)		(5)		(6)		(7)		(8)	
	Densité max. g/dm ³		Densité min. g/dm ³		Densité max.-min. g/dm ³		% densité > 500 g/dm ³		% densité > 650 g/dm ³		% densité > 800 g/dm ³		Cas de densité < 500 g/dm ³		Cas de densité > 800 g/dm ³	
	$\bar{x}$	$\sqrt{x}$	$\bar{x}$	$\sqrt{x}$	$\bar{x}$	$\sqrt{x}$	$\bar{x}$	$\sqrt{x}$	$\bar{x}$	$\sqrt{x}$	$\bar{x}$	$\sqrt{x}$	$\bar{x}$	$\sqrt{x}$	$\bar{x}$	$\sqrt{x}$
1	926	13	460	14	465	18	61,0	9,1	37,5	3,2	21,9	3,8	14	1	13	2
2	929	15	480	21	449	36	76,8	15,0	37,1	4,3	21,9	1,2	8	5	14	1
3	811	46	457	15	354	51	60,2	5,9	29,1	2,2	14,9	5,2	12	1	8	2
4	840	43	422	26	418	56	54,2	11,4	31,6	4,9	13,4	3,8	15	2	11	4
5	943	9	435	31	508	25	59,4	11,4	41,6	7,7	27,6	6,2	14	1	14	1
6	915	35	416	23	499	12	50,5	8,7	35,8	4,5	23,5	7,8	14	1	15	0
7	896	27	439	9	457	32	57,7	6,1	36,2	4,6	21,3	5,5	15	0	13	1
$\bar{A}$	894	54	444	28	450	58	60,0	11,8	35,6	5,7	20,6	6,5	13	3	12	3
8	927	16	454	8	472	23	57,1	3,9	29,2	1,7	16,5	3,2	13	1	14	1
9	905	33	405	19	500	18	49,1	4,1	31,5	3,3	17,6	6,6	15	0	14	1
10	884	63	388	22	495	49	43,7	2,2	26,6	2,0	13,2	4,9	15	0	13	3
11	915	56	403	33	512	36	44,6	6,8	28,7	4,3	17,7	5,7	15	0	13	3
12	917	25	454	32	462	56	60,7	9,1	32,0	3,4	20,4	1,8	13	2	14	1
13	938	25	417	31	520	6	51,5	7,5	29,4	4,2	19,4	2,8	15	0	14	1
14	908	18	419	25	489	37	56,9	6,5	33,7	3,6	17,7	5,7	14	0	14	1
$\bar{B}$	913	37	420	33	493	37	51,9	8,2	30,2	3,7	17,5	4,6	14	1	14	1
15	748	49	402	30	346	59	36,0	5,9	18,5	3,2	4,2	3,7	14	1	5	3
16	969	27	494	16	475	41	80,2	7,2	42,9	7,9	28,8	2,3	9	1	14	1
17	929	36	436	42	493	76	72,8	19,4	41,0	8,0	25,9	2,4	12	2	15	0
18	936	3	408	12	527	10	50,1	6,6	39,0	5,2	25,8	1,8	15	5	15	0
19	874	47	406	18	468	55	42,4	5,6	26,8	5,1	13,3	5,1	15	0	12	1
20	954	31	506	48	447	19	80,9	21,8	41,4	10,7	22,8	9,6	7	0	13	2
21	884	20	441	24	443	18	57,8	14,8	34,8	7,8	19,2	8,3	13	7	13	1
$\bar{C}$	899	76	442	48	457	67	60,0	20,8	34,9	10,6	20,0	9,5	12	4	12	4
22	923	31	425	23	498	11	46,4	3,8	27,2	2,3	16,2	2,1	14	2	14	1
23	914	56	466	11	448	49	52,9	6,6	29,0	6,2	16,0	7,9	13	1	13	1
24	918	59	437	20	481	38	48,9	2,7	29,8	1,9	16,5	4,7	15	1	14	1
25	876	12	439	9	437	19	65,2	5,7	42,4	4,5	23,7	0,8	14	0	11	2
26	855	49	434	29	420	22	53,5	11,8	30,8	8,3	14,6	7,5	14	1	11	2
27	942	17	437	34	505	28	63,3	7,6	40,1	3,5	25,1	4,6	13	2	15	0
28	929	72	447	27	482	61	62,5	15,5	36,1	3,9	22,1	4,0	12	5	14	2
$\bar{D}$	908	51	441	25	467	44	56,1	10,4	33,6	7,0	19,1	6,0	14	2	13	2
$\bar{E}$	904	56	437	35	467	55	57,0	13,9	33,6	7,4	19,3	6,9	13	3	13	3

Tableau n° 13a

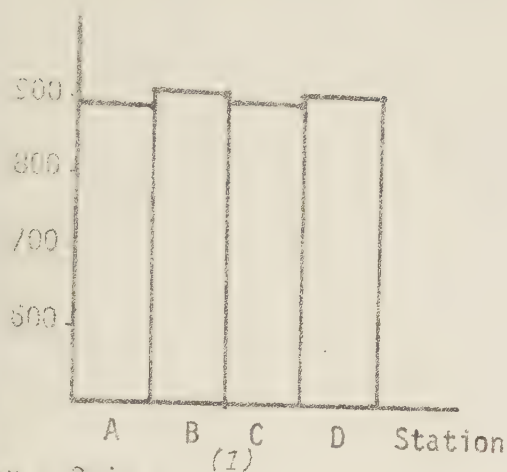
oyennes des caractères microdensitométriques mesurés sur des carottes de sondage par arbre, par station et pour la population totale

N° station	N° arbre	(1) Densité max. g/dm ³		(2) Densité min. g/dm ³		(3) Densité (max.-min.) g/dm ³		(4) % de densité > 500 g/dm ³		(5) % de densité > 650 g/dm ³		(6) % de densité > 800 g/d		(7) % hétérogénéité de densité max.	
		$\bar{x}$	$\sqrt{x}$	$\bar{x}$	$\sqrt{x}$	$\bar{x}$	$\sqrt{x}$	$\bar{y}$	$\sqrt{y}$	$\bar{y}$	$\sqrt{y}$	$\bar{y}$	$\sqrt{y}$	$\bar{y}$	$\sqrt{y}$
(1) A	1	937	24	471	30	466	33	70,1	18,3	35,6	3,7	23,7	4,3	2,4	1,7
	2	934	25	466	32	467	27	67,9	17,2	32,7	5,0	20,7	4,3	3,1	1,5
	3	959	24	473	46	485	25	74,2	10,6	38,1	6,7	25,8	6,2	1,5	0,5
	4	900	46	433	31	467	42	52,7	14,3	28,6	3,8	16,2	3,0	5,2	2,8
	5	928	26	476	33	451	45	72,1	16,9	32,1	3,8	20,3	3,5	3,4	1,4
	6	917	45	439	34	478	74	59,5	14,1	34,8	4,5	20,4	5,5	2,7	1,5
	7	911	24	446	28	465	35	60,5	14,4	30,8	5,4	19,8	5,6	2,3	1,0
	$\bar{A}$	925	36	456	33	469	45	64,5	16,3	33,1	5,5	20,7	5,4	3,0	1,9
(2) B	1	939	31	471	31	468	35	62,9	15,5	25,8	2,8	15,6	1,6	2,6	2,1
	2	898	45	423	23	475	32	49,8	7,1	31,1	3,6	17,4	5,9	2,4	1,0
	3	846	36	406	32	439	45	56,6	14,4	29,9	8,2	9,4	5,5	1,6	1,2
	4	851	53	406	19	444	53	44,6	11,8	25,1	5,9	6,9	6,3	2,0	1,3
	5	855	28	419	13	435	21	40,4	3,4	21,8	3,8	7,5	4,8	2,2	0,9
	6	916	48	426	26	489	51	50,2	9,0	25,6	5,6	14,1	5,7	2,4	1,7
	7	904	25	404	16	499	36	52,0	4,2	31,9	1,6	20,8	3,1	2,2	0,9
	$\bar{B}$	884	52	421	30	463	46	49,9	11,9	27,2	5,9	12,6	7,1	2,2	1,3
(3) C	1	789	32	399	16	389	23	41,4	8,0	20,2	3,3	4,1	2,4	5,4	3,3
	2	897	48	446	25	451	36	67,0	10,0	32,0	6,8	17,0	6,6	3,9	2,5
	3	901	49	474	24	426	53	76,9	13,3	40,8	8,6	19,7	7,8	2,1	1,2
	4	913	44	423	25	489	42	53,5	10,3	32,9	6,5	19,2	7,9	2,0	1,0
	5	867	44	429	19	438	57	52,6	8,9	31,2	5,8	13,2	6,3	3,2	2,3
	6	915	29	445	29	470	22	60,5	14,5	33,2	6,1	18,9	5,7	2,6	1,1
	7	917	31	424	14	492	24	54,8	7,6	31,9	4,6	17,4	5,8	3,1	1,4
	$\bar{C}$	890	56	436	31	453	51	58,9	14,9	32,3	8,2	16,3	7,9	3,0	2,1
(4) D	1	860	53	413	21	447	64	45,7	8,4	25,6	8,1	11,4	6,5	3,9	3,2
	2	877	36	444	34	433	38	55,8	19,7	24,9	8,3	9,7	4,1	3,0	1,9
	3	900	35	425	16	474	39	43,6	5,6	24,2	4,2	12,7	4,6	2,8	1,5
	4	939	30	492	27	446	42	66,5	13,4	37,3	2,2	24,6	3,0	2,9	2,0
	5	816	46	428	18	388	54	48,6	6,5	25,3	4,9	7,4	4,1	4,6	2,1
	6	905	33	392	17	512	38	47,7	4,9	29,5	6,4	17,7	5,9	2,4	1,2
	7	923	20	457	10	466	18	47,0	8,3	27,8	5,6	15,5	4,6	2,1	0,9
	$\bar{D}$	886	52	433	36	453	57	50,5	12,9	27,5	7,2	13,8	7,0	3,1	2,1
	$\bar{G}$	895	52	436	35	459	51	55,5	15,1	29,9	7,4	15,6	7,6	2,8	1,9

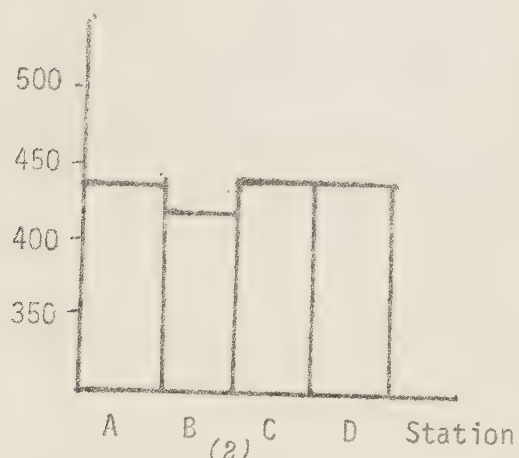
Tableau n° 13b

Yennes des caractéristiques microdensitométriques mesurés sur les échantillons parallèles
lépipédiques par arbre, par station, pour la population totale

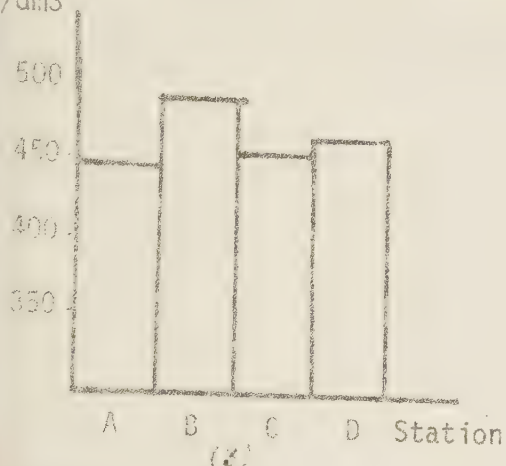
Densité maximale
g/dm³



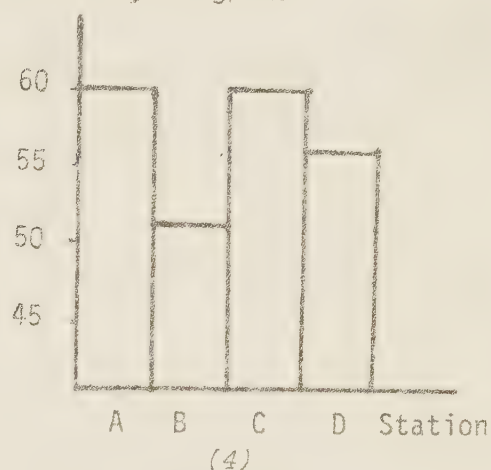
Densité minimale
g/dm³



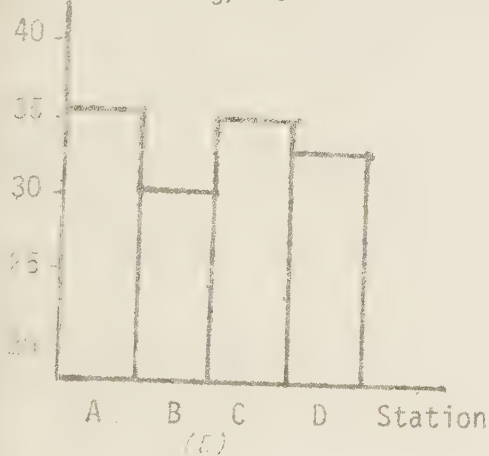
$\rho_{max} - \rho_{min}$
g/dm³



% densité ≥ 500 g/dm³



% densité ≥ 650 g/dm³



% densité ≥ 800 g/dm³

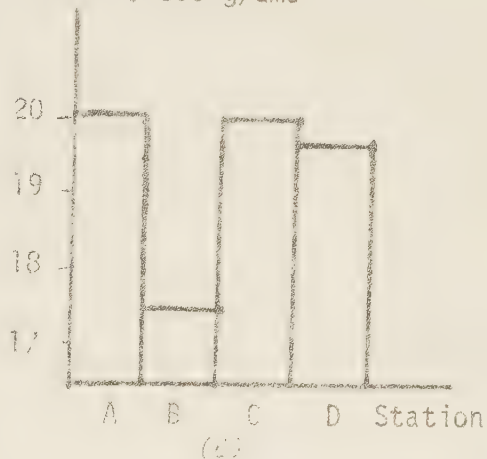


FIGURE n° 14 = DIAGRAMMES PRESENTANT LES MOYENNES DES STATIONS
POUR LES CARACTERISTIQUES MICRODENSITOMETRIQUES

Diagrammes (1) à (6) = avec carottes de sondage

Figure 1



Figure 2



Figure 3



Figure 4



Figure 5



Figure 6



Figure 7



Figure 8

Figure 9

Figure 10

III.1.3.4 - Pourcentage du bois d'été ayant une densité supérieure à des seuils de 500, 650, 800 g/dm³

Avec les deux types d'échantillons, nous trouvons les mêmes variations entre stations et les modes d'essais n'empêchent pas, en général, ces variations de se manifester : voir tableaux 13a,b et diagrammes correspondants de la figure n° 14.

Dans le cas de pourcentage du bois ayant une densité > 500 g/dm³, ce sont les stations B et D qui ont donné les moyennes les plus faibles : 51,9 % et 56,1 % pour les carottes de sondage et 49,9 % et 50,5 % pour le deuxième type d'échantillons.

En ce qui concerne le pourcentage du bois ayant une densité > 650 g/dm³, on a trouvé, pour B et D, 30,2 et 33,6 % pour les carottes, 27,2 % et 27,5 % pour les autres échantillons.

Pour le pourcentage du bois ayant une densité > 800 g/dm³ : les chiffres obtenus, pour B et D, sont 17,5 % et 19,1 % pour les carottes, 12,6 % et 13,8 % pour le deuxième type d'échantillons.

Les stations A et C ont donné les moyennes les plus fortes pour tous les niveaux de densité :

a) moyenne des pourcentages du bois ayant une densité > 500 g/dm³ : 60,0 %, 60,0 % pour les carottes et 64,5 %, 58,9 % pour les éprouvettes,

b) moyenne des pourcentages du bois ayant une densité > 650 g/dm³ : 35,6 %, 34,9 % pour les carottes et 33,1 %, 32,3 % pour les éprouvettes,

c) moyenne des pourcentages du bois ayant une densité > 800 g/dm³ : 20,6 %, 20,0 % pour les carottes et 20,7 %, 16,3 % pour les éprouvettes.

III.1.3.5 - Hétérogénéité de la densité maximale

Le tableau 13b et le diagramme (15) de la figure 14 montrent que la station B présente la valeur la plus petite : 2,2 %, contre 3 %, 3 % et 3,1 % pour A, C et D qui sont très semblables. Dans ce cas aussi, c'est peut-être le facteur "altitude", sur gabbros, qui agit le plus sur ce caractère : l'homogénéité de la densité maximale y augmenterait avec l'altitude.

Si nous comparons les moyennes des écarts-types, nous trouvons que c'est la station B qui a l'écart le plus faible : 1,3 % et autres stations : A, C et D ont des écarts relativement élevés : 1,9, 2,1 et 2,1, c'est-à-dire qu'il y a quelques individus qui sont responsables de cette valeur, supérieure à celle observée pour la station B.

...

III.2 - PRESENTATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS MOYENS
D'ESSAIS PAPETIERS

III.2.1 - PRESENTATION DES RESULTATS DES CONDITIONS DE CUISSON

III.2.1.1 - Traitement à la soude

Les valeurs moyennes de rendement, l'indice de permanganate KMnO_4 et le pourcentage de réactifs consommés, pour chaque concentration de réactifs utilisés, sont regroupés dans le tableau n° 14 ci-après.

% Alkali-Actif NaOH	15 %	18 %	20 %	23 %	26,6 %	30 %	35 %	40 %
% Rendement en fibre	58,29	52,96	50,00	47,29	44,80	42,97	39,62	36,10
Indice de permanganate	34,12	34,42	33,09	27,45	23,91	24,69	17,50	12,69
(Liqueur noire) % Soude consommée	83,4	81,0	70,3	60,8	60,1	59,3	54,5	52,7

Tableau n° 14
Résultats du traitement à la soude

Nous avons tracé une courbe (Fig. 15) représentant les variations des rendements et les indices de permanganate correspondants en fonction des variabilités du pourcentage d'Alkali-Actif.

III.2.1.2 - Traitement au Kraft, procédé au "sulfate"

Nous avons regroupé les valeurs moyennes de la même façon que la précédente dans le tableau n° 15 ci-après et la figure 16.

...

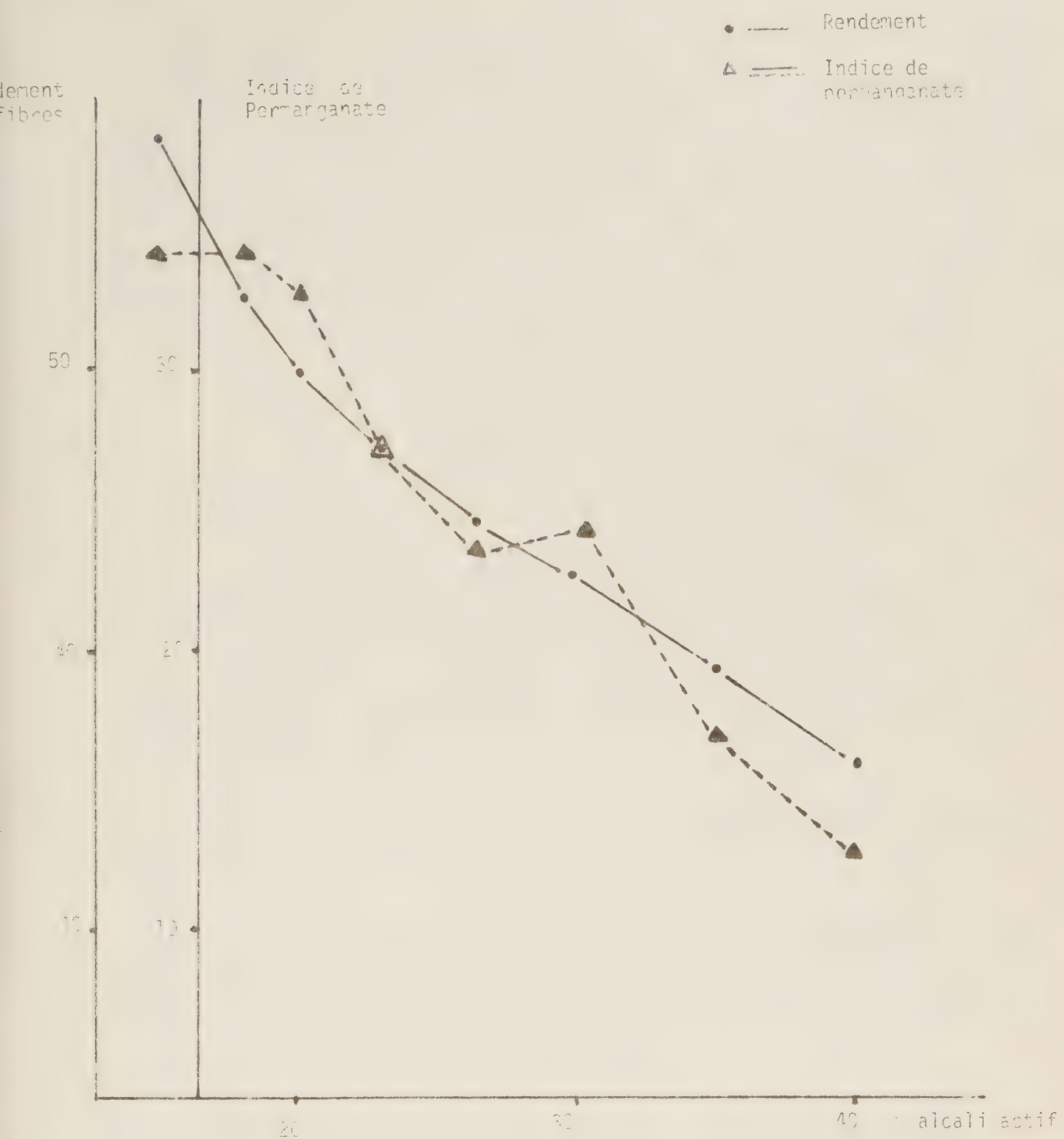


FIGURE n° 15 - VARIATION DU RENDEMENT ET DES INDICES DE PERMANGANATE EN FONCTION DES POURCENTAGES D'ALCALI ACTIF DANS LE TRAITEMENT A LA SOUDE

% Alkali-Actif NaOH + Na ₂ S	15	18	20	23	26,6	30	35	40
% Rendement	52,5	48,9	40,4	46,26	43,73	42,03	40,6	37,6
Indice de permanganate	27	19,5	17	14	11,8	9,5	7,8	7,5
(Liqueur noire) % de réactif NaOH	89,4	78,2	76,5	74,6	66,2	63,6	58,9	55,3
(Liqueur noire) % consommation de Na ₂ S	94,9	94,5	89,4	90,9	90,2	91,4	88,1	89,6

Tableau n° 15

III.2.1.3 - Interprétation des résultats des conditions de cuisson

La cuisson "Kraft" et la cuisson à la soude pure ont donné des pâtes très différentes, ce qui est un aspect connu de la technologie des pâtes.

Nous remarquons que, dans le cas de la cuisson à la soude pure, pour des rendements qui vont de 58 à 39 %, lorsqu'on utilise des Alkali-Actifs de 15 à 40 %, les indices de permanganate vont de 34 à 12 (voir tableau 16). Ces valeurs sont élevées et montrent que la pâte à la soude, obtenue sur *Pinus Brutia*, reste dur et mal délignifiée, sauf lorsqu'on emploie des quantités considérables de réactifs.

Dans le cas de la cuisson "Kraft", le comportement de *Pinus Brutia*, du point de vue de la délignification, est satisfaisant.

Pour des rendements qui vont de 52,5 à 37,5 %, lorsqu'on utilise des Alkali-Actif de 15 à 40 %, les indices de permanganate s'étagent de 27 à 7,5, ce qui est inférieur à celui déjà obtenu par la cuisson à la soude ; la qualité est donc meilleure avec un rendement acceptable.

% Alkali-Actif exprimé en Na ₂ O	1	15	18	20	23	26,6	30	35	40
	2	15	18	20	23	26,6	30	35	40
Rendement	1	58,59	52,96	50,00	47,29	44,80	42,80	39,62	36,10
	2	52,5	48,90	48,40	43,73	43,73	42,03	40,60	37,60
Indice de permanganate	1	34,12	34,42	33,09	27,45	23,91	24,69	17,50	12,69
	2	27	19,5	17	14	11,8	9,5	7,8	7,5

Tableau n° 16

Comparaison des résultats des traitements à la soude (1) et au Kraft (2) ...

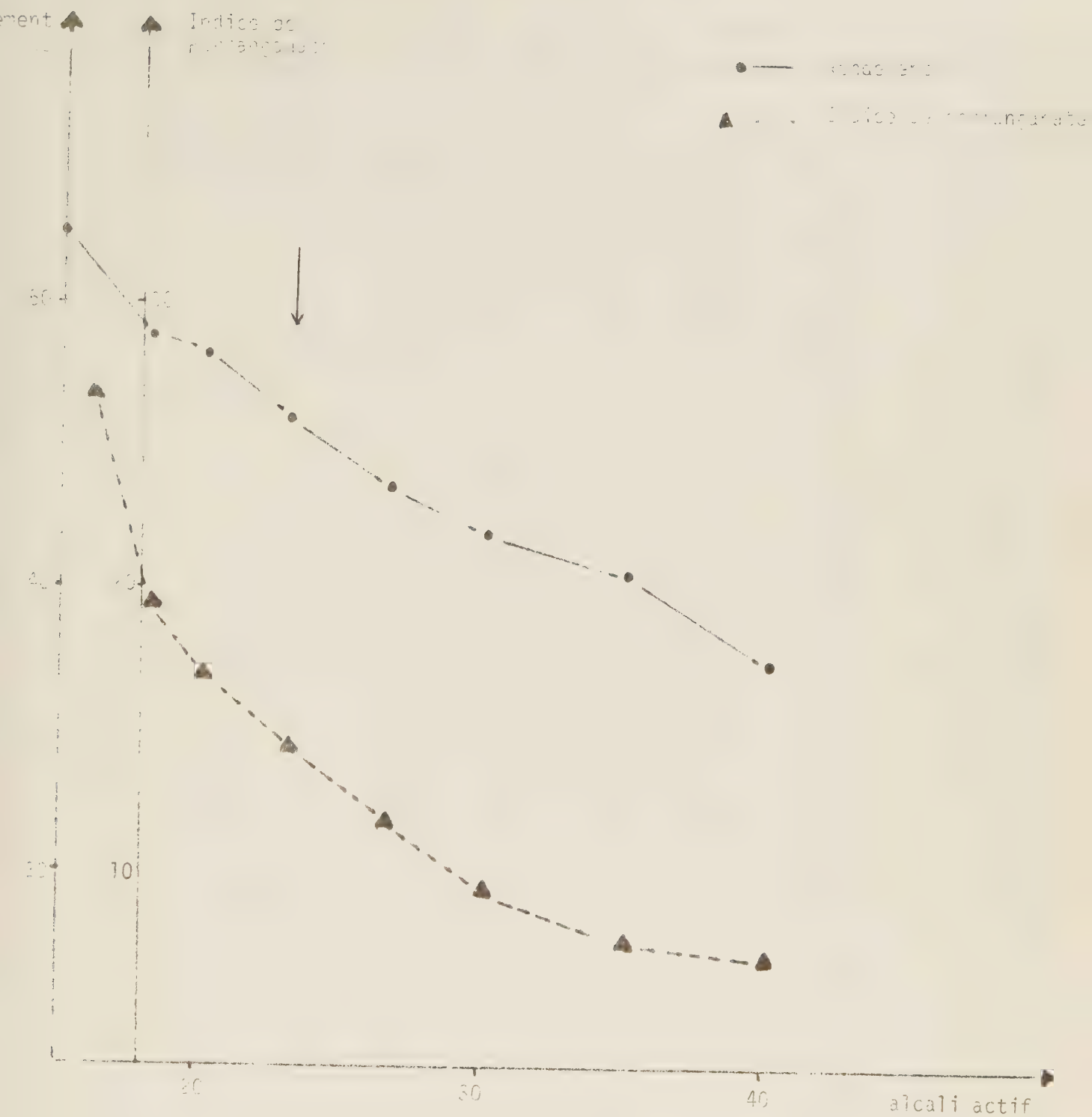


FIGURE n° 16 = VARIATION DU RENDEMENT ET DES INDICES DE PERMANGANATE EN FONCTION DES POURCENTAGES D'ALCALI ACTIF DANS LE TRAITEMENT KRAFT (PROCEDE AU SULFATE)

III.2.2 - PRESENTATION DES RESULTATS DE VARIABILITE DES RENDEMENTS

Les résultats des rendements, pour chaque arbre et pour chaque orientation nord, sud, est, ouest, sont donnés dans le tableau ci-après.

Station	n°s des arbres	Orientements				Moyenne par arbre	Ecart-type
		Nord	Sud	Est	Ouest		
1	1	42,90	43,59	43,98	42,98	43,36	0,51
	2	42,09	43,33	43,50	43,32	42,97	0,62
	3	44,06	44,40	42,34	41,72	43,13	1,30
	4	42,43	43,58	45,06	41,35	43,10	1,56
	5	44,25	44,26	45,00	40,46	43,49	2,05
	6	46,12	43,97	43,17	45,49	44,68	1,35
	7	38,69	43,68	43,62	44,12	42,52	2,56
Moyenne		42,94	42,93	43,83	43,81	43,32	1,53
2	8	41,14	44,68	44,26	41,70	43,19	1,78
	9	42,01	43,22	43,36	41,49	42,52	0,91
	10	39,44	44,02	44,20	43,64	42,82	2,26
	11	43,59	43,66	43,90	45,02	44,04	0,66
	12	42,64	44,53	45,14	36,34	42,16	4,02
	13	44,65	44,84	44,54	44,34	44,59	0,20
	14	43,20	44,47	44,54	44,52	44,18	0,65
Moyenne		42,38	44,20	44,27	42,43	43,35	1,92
3	15	44,46	43,77	44,03	43,60	43,96	0,37
	16	45,36	43,38	39,14	45,56	43,36	2,98
	17	44,54	34,57	44,36	43,41	41,72	4,79
	18	46,09	45,90	43,01	45,11	45,02	1,41
	19	42,58	39,06	43,29	43,65	42,14	2,10
	20	42,08	41,97	42,63	44,41	42,77	1,12
	21	43,33	38,34	42,20	35,88	39,93	3,44
Moyenne		44,06	40,99	42,66	43,08	42,70	2,85
4	22	43,20	44,57	44,28	44,18	44,05	0,59
	23	44,21	38,38	40,56	42,06	41,30	2,45
	24	43,33	43,76	36,17	43,46	41,68	3,67
	25	43,57	43,43	42,51	42,76	43,06	0,51
	26	36,91	41,79	40,01	41,19	39,97	2,17
	27	43,62	43,81	43,38	44,07	43,70	0,31
	28	43,38	43,73	42,06	43,61	43,19	0,97
Moyenne		42,60	42,78	41,27	43,04	42,42	2,18
Moyenne générale		42,99	42,95	43,00	42,82	42,94	2,18

Tableau n° 17

Résultats moyens des rendements

...

cartes-types

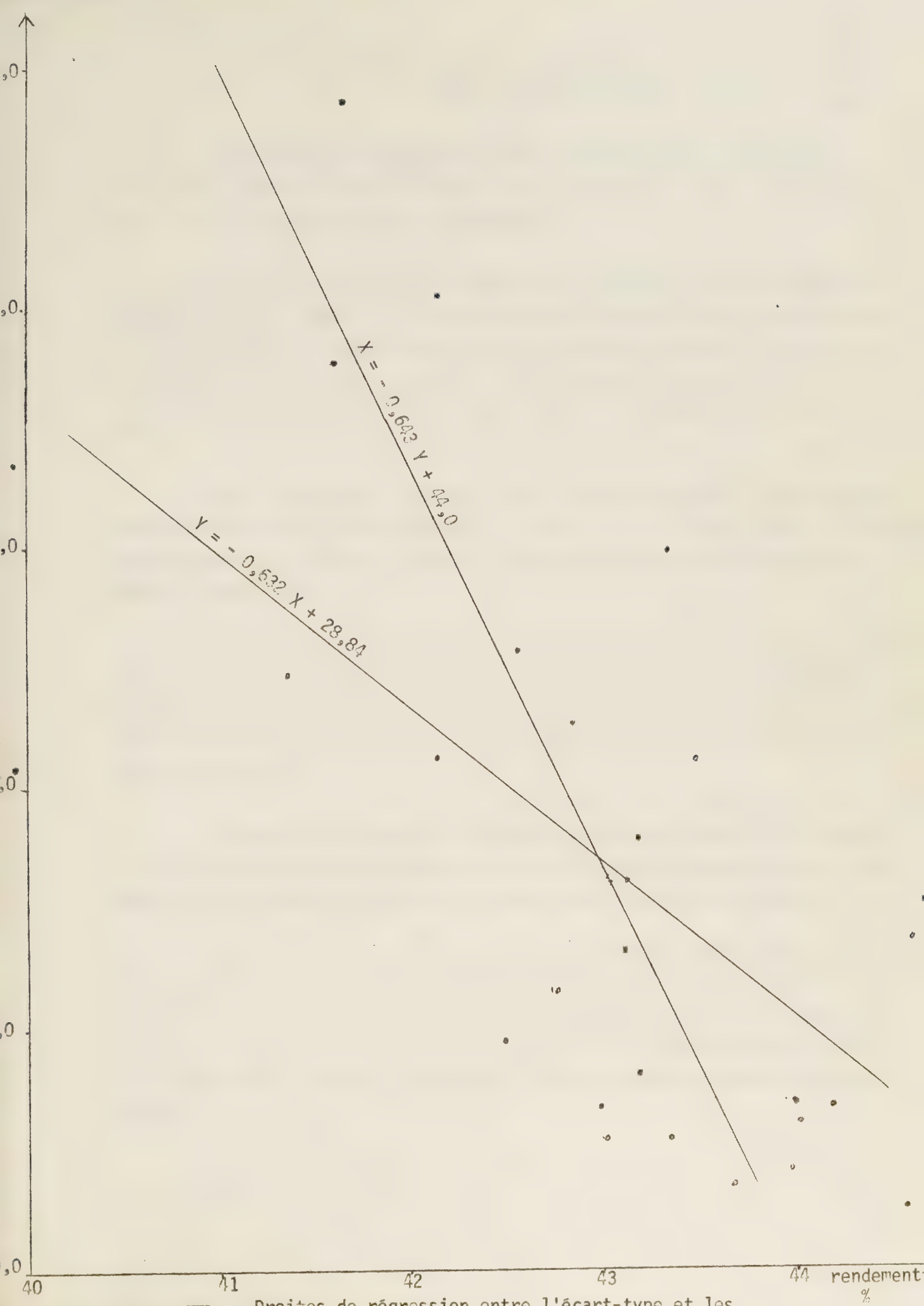


Figure (18) = Droites de régression entre l'écart-type et les moyennes de rendement pour les 28 arbres

- un rendement dans la direction sud de 34,57
soit une diminution de 9,53

Cette baisse de rendement peut nous confirmer les observations faites sur l'aspect du bois (largeur de la zone de bois d'été, retrait axial, etc...) à la présence du bois de compression.

Par ailleurs, nous avons examiné la corrélation existant entre les valeurs des écarts-types et le rendement moyen de chaque arbre, pour juger de leur hétérogénéité. Le graphique, dans la figure n°18, montrant les droites de régression X en Y et Y en X, avec des coefficients de corrélation ($- 0,64$), confirment que l'hétérogénéité est responsable de l'existence des rendements faibles.

Ainsi, lorsqu'on constatera, dans l'étude papetière, des rendements faibles et une très forte variation en liaison avec les orientations, on pourra les attribuer à la présence de bois de compression sur un des orientations (JANIN - RAHME 1972).

En effet, JANIN (1972b) a déjà trouvé une liaison entre l'hétérogénéité et l'orientation dans son étude sur le diagramme polaire des rendements ; celle-ci est préjudiciable à la qualité de la pâte résultante. Cette baisse de qualité s'accompagne d'une baisse de rendement, ceci est dû à la présence de bois de compression.

Cependant, nous pouvons constater que certains arbres (par exemple n° 2, 1) ont un rendement moyen faible mais un écart-type encore faible. Ceci montre que le rendement papetier peut varier avec l'individu examiné.

Dans la suite de ce travail (dans la partie sur "l'analyse statistique des résultats généraux"), nous allons étudier les variabilités de rendement en fonction des stations et les corrélations existant entre celles-ci et d'autres caractères : caractères physiques et microdensitométriques, ainsi que : infradensité, largeur des cernes, teneur en résine et composants de la densité.

...

III.3 - RESULTATS ET INTERPRETATION DES ETUDES DE CORRELATION

III.3.1 - CORRELATIONS ENTRE LES VARIABLES EXPLICATIVES ET LES CARACTERISTIQUES MECANQUES (VARIABLES A EXPLIQUER)

III.3.1.1 - Définition

Les variables explicatives sont les caractères physiques et micro-densitométriques (mesurés sur les échantillons parallélépipédiques radiographiés) suivants :

- Infradensité en g/dm³ (I. D.)
- Largeur des cernes en mm (L. C.)
- Moyenne des densités maximales annuelles en g/dm³ (D. max.)
- Moyenne des densités minimales annuelles en g/dm³ (D. min.)
- Ecart entre la moyenne des densités maximales et la moyenne des densités minimales en g/dm³ (D. max. - D. min.)
- Pourcentage de bois ayant une densité ≥ 500 g/dm³ (% d. ≥ 500)
- Pourcentage de bois ayant une densité ≥ 650 g/dm³ (% d. ≥ 650)
- Pourcentage de bois ayant une densité ≥ 800 g/dm³ (% d. ≥ 800)

Les variables à expliquer sont les caractères mécaniques suivants :

- Charge maximum de rupture en flexion statique en kg/cm²
- Charge maximum de rupture en compression axiale en kg/cm²
- Charge maximum exercée en compression de flanc en kg/cm²
- Module d'élasticité en flexion statique
- Module d'élasticité longitudinale en compression axiale en kg/cm²
- Flèche correspondant à la rupture en flexion statique en mm.

Les études de corrélations ont été faites par l'ordinateur de la station de biométrie du C. N. R. F.

Ces études de corrélation entre variables explicatives et variables à expliquer présentent un grand intérêt :

D'une part, les variables explicatives sont des caractères micro-densitométriques et physiques, couramment obtenus à partir de prélèvements non destructifs à la tarière de Pressler. Ces données sont faciles à obtenir et à mesurer et on peut donc traiter un grand nombre d'échantillons dans un temps relativement court par rapport au temps que l'on passe pour faire les essais mécaniques destructifs (surtout avec l'avancement rapide des perfectionnements de la méthodologie).

D'autre part, une corrélation étroite, entre caractéristiques explicatives et caractéristiques mécaniques à expliquer (pour une essence et dans des conditions déterminées), permettra ultérieurement d'apprécier des propriétés mécaniques, sans faire les essais destructifs. KELLER (1968a, 1972) a montré, dans des essais sur le douglas (*Pseudotsuga menziesii*) et sur le frêne commun (*Fraxinus excelsior*), que ce sont les composantes de la densité qui apparaissent souvent les premières dans les calculs de régressions progressives multiples en tant que variables explicatives de telle ou telle propriété mécanique (variable à expliquer), ou encore, en d'autres termes, que leur coefficient de corrélation totale, avec ces dernières, est le plus élevé.

III.3.1.2 - Corrélations entre la charge maximum de rupture en flexion statique et les variables explicatives

Dans le tableau ci-après (n° 18), nous trouvons que la charge est fortement corrélée avec toutes les variables explicatives au niveau "station" où le nombre de degrés de liberté varie de 96 à 130 et au niveau général de toutes les populations de *Pinus brutia* rassemblées avec 463 d. d. l..

Pour montrer l'importance de chaque variable explicative, nous classons ci-dessous ces variables d'après la valeur de leurs coefficients de corrélation, par ordre de signification décroissante :

- Pourcentage de bois ayant une densité ≥ 800 g/dm³ (d. > 800)
- Moyenne des densités maximales annuelles (D. max.)
- Infradensité (I. D.)
- Largeur moyenne des cernes (L. C.)

Variables explica- tives station	Infra- densité	Largeur des cernes	Densité max.	Densité min.	% densité > 500 g/dm ³	% densité > 650 g/dm ³	% densité > 800 g/dm ³	Densité max. - densité min.	Nombre de couples
A	*** 0,426	*** - 0,326	*** 0,446	-	-	*** 0,411	*** 0,455	** 0,243	98
B	*** 0,492	*** - 0,726	*** 0,547	*** 0,275	-	** 0,240	*** 0,590	*** 0,436	110
C	*** 0,472	-	*** 0,399	*** 0,378	*** 0,391	*** 0,426	*** 0,438	* 0,206	123
D	*** 0,443	*** - 0,316	*** 0,415	* 0,225	-	*** 0,419	*** 0,566	** 0,238	134
G	*** 0,468	*** - 0,437	*** 0,474	*** 0,312	** 0,232	*** 0,396	*** 0,539	*** 0,275	465

Tableau n° 18

Valeurs des coefficients de corrélation
entre la charge maximum de rupture en flexion statique et les variables explicatives

*** : significatif au seuil 1 %
** : significatif au seuil 2 %
* : significatif au seuil 5 %

A, B, C, D : station

G : toutes les stations réunies

- Pourcentage de bois ayant une densité ≥ 650 g/dm³
(d. > 650)
- Moyenne des densités minimales annuelles (D. min.)
- Ecart entre (D. max.) et (D. min.)
- Pourcentage de bois ayant une densité ≥ 500 g/dm³
(d. ≥ 500)

Nous trouvons donc que la charge maximale de rupture en flexion statique a été mieux expliquée par les deux premières variables microdensitométriques, tirées des courbes de variation de la densité. L'ensemble des résultats sont presque analogues à ceux trouvés par certains chercheurs :

VENET (1958) a mis en évidence, pour quelques essences utilisées en bois de mine, un certain parallélisme entre densité et résistance mécanique.

POLGE (1963) a trouvé, chez *Abies grandis*, une corrélation significative entre la charge de rupture à la flexion statique à 15 % d'humidité et la densité et une corrélation négative avec la largeur des cernes.

Le même auteur (1966) a montré, après sa méthode d'analyse de variation de la densité, que les nouveaux critères, tirés de la courbe de la variation de la densité, tels que le pourcentage de bois ayant une densité supérieure à 600 g/dm³ et la densité maximale, étaient les variables les meilleures qui expliquent la charge maximale de rupture en flexion statique sur le bois de mine d'*Abies grandis*, où ce pourcentage est responsable de 64 % de la variation de ce caractère.

KELLER (1968), dans son étude sur le *Pseudotsuga menziesii*, a trouvé un coefficient de corrélation de 0,770 pour 45 degrés de liberté, qui est très significatif, entre la résistance en flexion statique et la moyenne des densités maximales et un coefficient de corrélation négatif (- 0,550), très significatif, entre la même caractéristique mécanique et la largeur des cernes. Mais, par contre, il a aussi trouvé que la corrélation, entre la charge et la densité minimale annuelle, est négative mais non significative ; ce qui est opposé à ce que nous avons trouvé car, pour la même corrélation, nous avons obtenu, pour *Pinus brutia*, un coefficient positif et très significatif au seuil de 1 % (0,312) (voir tableau n° 18).

Ici, la liaison positive entre la densité minimale et la charge maximale en flexion statique peut s'expliquer par l'intermédiaire de la densité moyenne (infradensité) :

1°) une augmentation de la densité minimale conduit à une augmentation de la densité moyenne ; le coefficient de corrélation trouvé entre les deux dernières a été positif et très significatif (0,503), pour 463 degrés de liberté ;

2°) quand la densité moyenne est élevée, la charge devient également élevée car nous avons trouvé une corrélation positive et très significative entre l'infradensité et cette charge (tableau n° 18) où l'infradensité était en troisième position parmi les variables explicatives de ce caractère mécanique.

PAPAMIKAÏL (1962) a trouvé, chez *Abies cephalonica* Loud. un coefficient de corrélation de 0,717 très significatif (376 degrés de liberté) entre la densité et la charge de flexion statique, et un coefficient négatif (- 0,569) très significatif entre la charge et la largeur des cernes.

Nous avons donc trouvé, comme les autres chercheurs, que la résistance en flexion statique est influencée par les fortes densités, soit par la texture, soit par la moyenne des densités maximales annuelles qui, lorsqu'elles sont élevées, vont de pair avec une résistance mécanique importante.

Une texture élevée correspond à un pourcentage élevé de bois d'été dans lequel les trachéïdes ont des parois très épaisses et très riches en lignine qui contribuent la résistance aux efforts mécaniques, tandis que les trachéïdes du bois initial (de printemps) ont des parois minces, beaucoup moins lignifiées et plus fragiles.

D'autre part, une des raisons pour lesquelles nous avons trouvé des corrélations négatives très étroites entre la charge maximale supportée en flexion statique et la largeur des cernes est que la largeur a une influence sur la forme des cellules et sur la structure submicroscopique de la paroi cellulaire, qui sont des facteurs très importants dans l'étude des résistances mécaniques.

En effet, LABLOKOFF (1963) a montré, dans son étude sur les variations des résistances mécaniques et de la structure anatomique du bois d'*Épicéa commun*, qu'à partir d'un accroissement annuel de 2 mm, il y aurait une chute des caractéristiques mécaniques due non seulement à la diminution de la texture, mais surtout à la désorientation de la structure des chaînes de cellulose formant les parois cellulaires, qui provoque une baisse de la qualité du matériau constitutif lui-même.

Cette désorientation est plus accentuée dans le bois initial que dans le bois final, ce qui peut expliquer en plus pourquoi la résistance du bois initial est de beaucoup moindre que la résistance du bois final.

Pour bien exprimer graphiquement le résultat, nous avons tracé les droites de régression de x en y et de y en x (figure n°19) entre la charge maximum de rupture en flexion statique et la variable explicative la plus importante (% d. > 800 g/dm³) qui a donné le coefficient de corrélation le plus élevé.

...

Charge de rupture en
flexion statique
(kg/cm²)

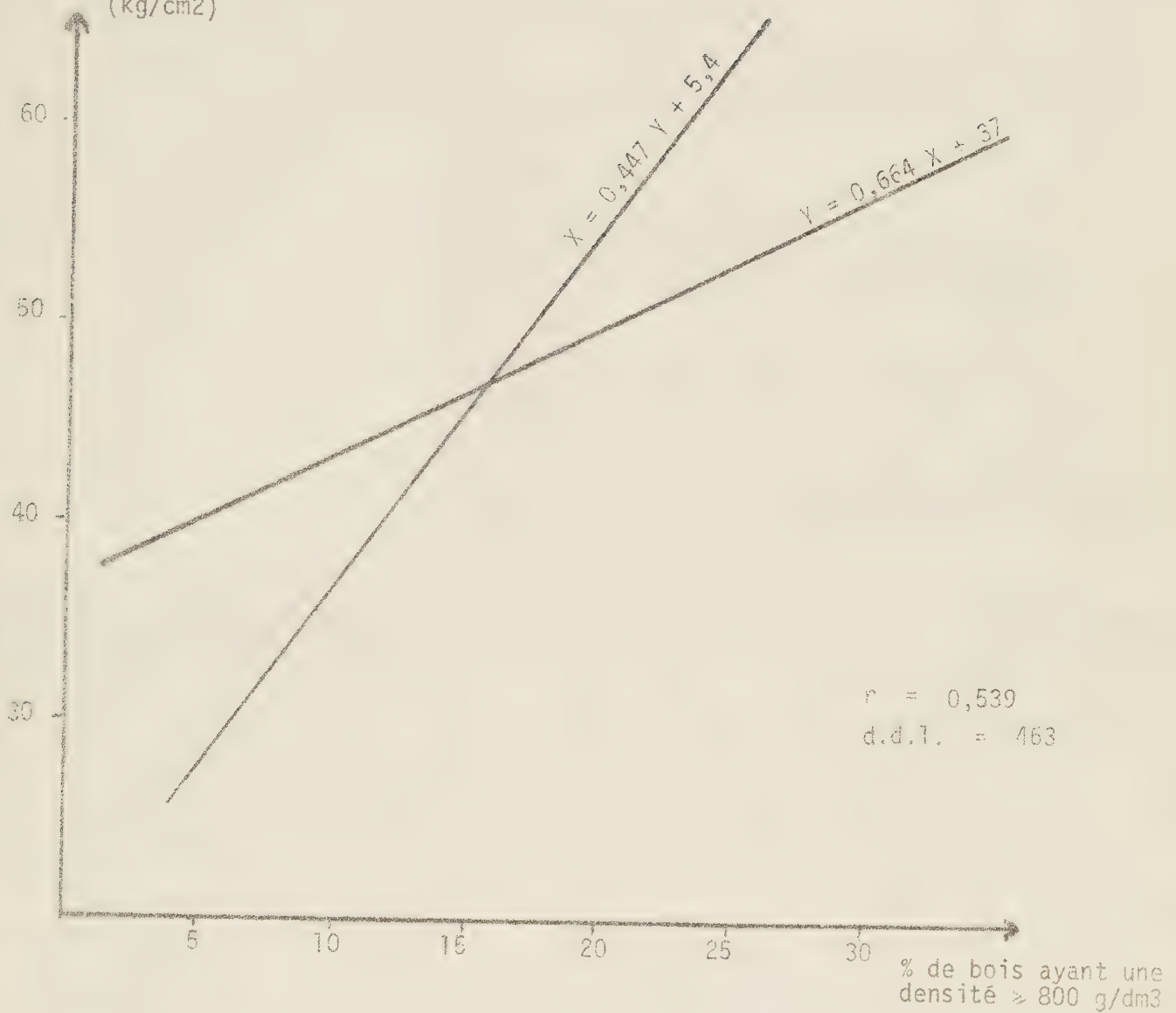


FIGURE n° 19 = DROITES DE REGRESSION ENTRE LA CHARGE DE RUPTURE EN FLEXION STATIQUE ET LE POURCENTAGE DE BOIS AYANT UNE DENSITE EGALE OU SUPERIEURE A 800 g/dm³.

r = coefficient de corrélation

d.d.l. = nombre de degrés de liberté.

III.3.1.3 - Corrélations entre la charge de rupture en compression axiale et les variables explicatives

Les résultats regroupés dans le tableau n°19 nous montrent les liaisons qui existent entre la charge en compression axiale et les variables explicatives au niveau général et au niveau des stations. Les variables explicatives se classent de la façon suivante, selon l'ordre décroissant des valeurs des coefficients de corrélation correspondants :

- Pourcentage de bois ayant une densité ≥ 800 g/dm³ (d. ≥ 800)
- Infradensité (ID.)
- Largeur des cernes (L. C.)
- Moyenne des densités maximales annuelles (D. max.)
- Pourcentage de bois ayant une densité ≥ 650 g/dm³ (d. ≥ 650)
- Moyenne des densités minimales annuelles (D. min.)
- Pourcentage de bois ayant une densité ≥ 500 g/dm³ (d. ≥ 500)
- Ecart entre la moyenne des densités maximales et la moyenne des densités minimales (D. max. - D. min.).

Variables explicatives	Infradensité	Largeur des cernes	Densité max.	Densité min.	% densité ≥ 500	% densité ≥ 650	% densité ≥ 800	Densité max. - densité min.	Nombre de couples
A	*** 0,426	*** - 0,367	*** 0,452	-	-	*** 0,301	*** 0,442	*** 0,280	98
B	*** 0,412	*** - 0,631	*** 0,448	* 0,217	-	-	*** 0,528	*** 0,362	110
C	*** 0,586	-	*** 0,409	*** 0,524	*** 0,431	*** 0,490	*** 0,535	-	123
D	*** 0,559	*** - 0,317	*** 0,416	*** 0,375	*** 0,360	*** 0,548	*** 0,590	-	134
G	*** 0,537	*** - 0,460	*** 0,449	*** 0,368	*** 0,282	*** 0,432	*** 0,562	* 0,211	465

Tableau n° 19

Valeurs des coefficients de corrélation significatifs entre la charge de rupture en compression axiale et les variables explicatives

- * : significatif au seuil 0,05
- ** : significatif au seuil 0,02
- *** : significatif au seuil 0,01

G : moyenne générale de toutes les stations réunies

Dans ces résultats, nous observons que les variables explicatives, ayant les coefficients les plus élevés avec la charge de rupture en compression axiale, sont les mêmes que pour la charge de rupture en flexion statique. On peut attribuer cette observation au fait que la structure du bois a une action similaire en ce qui concerne les deux efforts mécaniques : flexion statique et compression axiale. Une texture forte dans le bois conduit à une résistance élevée aux charges appliquées, soit dans la direction des trachéides (cas de la compression axiale), soit dans la direction perpendiculaire aux trachéides (cas de la flexion statique) par l'intermédiaire d'un grand pourcentage de bois final (bois d'été).

Le bois final présente des propriétés différentes de celles du bois initial (bois de printemps) dans :

- l'épaisseur des membranes cellulaires
- le poids spécifique élevé
- l'orientation des chaînes celluloses des cellules, qui conduit à une réduction de l'angle d'inclinaison des fibrilles (caractère très important pour la résistance mécanique du bois : OHTA S. - 1972).

Par ailleurs, l'action de la largeur des cernes (en corrélation négative significative avec les charges de rupture en compression axiale et en flexion statique) consisterait uniquement en une augmentation ou une réduction du pourcentage du bois à densité élevée et de l'infradensité qui sont liées à la résistance mécanique en compression axiale et en flexion statique.

KELLER (1968a) a également étudié, chez *Pseudotsuga menziesii*, une liaison entre variables explicatives et charge maximale de rupture en compression axiale ; ses résultats sont semblables à ceux que nous avons trouvés mais, cependant, avec certaines différences chez lui :

d'une part, c'était le pourcentage de bois, ayant une densité supérieure à 350 g/dm³, qui avait donné le coefficient le plus élevé ;

et d'autre part, la corrélation entre la charge et la largeur des cernes était négative mais non significative, et la corrélation entre la densité minimale et la charge n'était non plus pas significative.

Dans notre expérience sur *P. brutia*, nous avons trouvé que :

1°) le pourcentage de bois, ayant une densité supérieure à 800 g/dm³, est la variable la plus explicative de la charge (le coefficient de corrélation est le plus élevé : 0,562) ;

2°) la corrélation entre la charge et la largeur des cernes est encore négative mais très significative ;

3°) la densité minimale, qui est étroitement liée à l'infradensité, est en corrélation avec la charge, avec un coefficient (0,368) très significatif.

La dépendance, entre la charge de rupture en compression axiale et les critères de composante de la densité, ne se manifeste pas uniquement chez les résineux mais aussi chez les feuillus.

PARSA D. (1970) a également trouvé chez le hêtre (*Fagus orientalis* Lipsky) d'Elbourz (en Iran) des résultats très semblables aux nôtres en ce qui concerne la largeur des cernes, l'infradensité, la densité maximale, la densité minimale et le pourcentage du bois ayant une densité supérieure à 600 g/dm³ ; ces facteurs ont tous été en liaison étroite avec la charge maximale de rupture en compression axiale.

Dans la figure n° 20, nous avons tracé deux droites de régression pour mieux montrer la liaison étroite entre la charge maximum de rupture en compression axiale et la variable explicative la plus importante (% d. > 800 g/dm³) qui a donné le coefficient de corrélation le plus élevé.

...

Charge de rupture en
compression axiale
(kg/cm²)

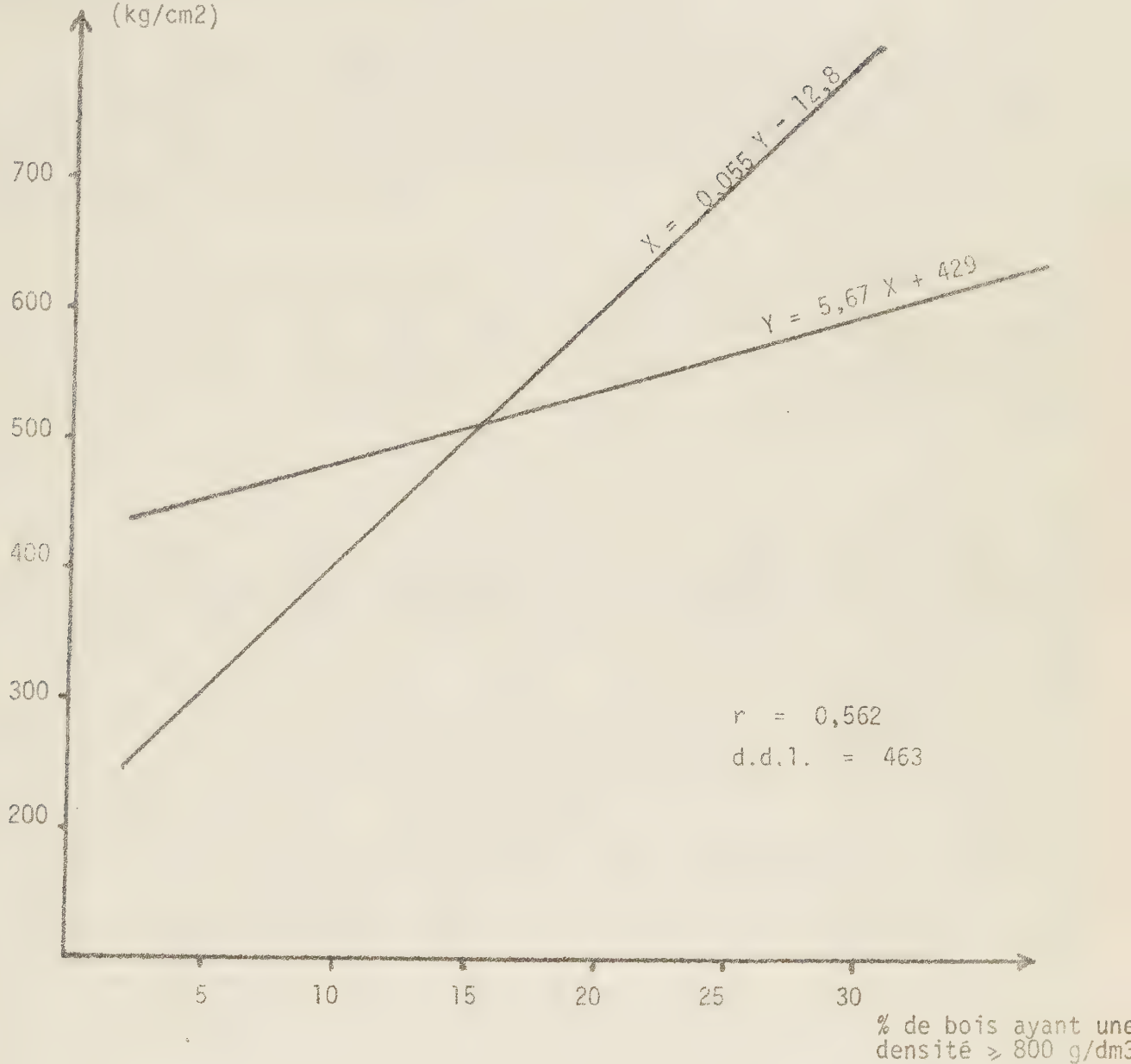


FIGURE n° 20 = DROITES DE REGRESSION ENTRE LA CHARGE DE RUPTURE EN COMPRESSION AXIALE ET LE POURCENTAGE DE BOIS AYANT UNE DENSITE EGALE OU SUPERIEURE A 800 g/dm³.

III.3.1.4 - Corrélations entre la charge maximale atteinte en compression de flanc (dureté) et les variables explicatives

Ces résultats, présentés au tableau n° 20, varient de façon différente des résultats de corrélation entre les variables explicatives et les deux caractères mécaniques précédents :

ici, deux variables (largeur des cernes, écart entre D. max. et D. min.) n'ont pas donné de coefficients de corrélation générale significatifs, tandis que, dans les deux cas précédents, toutes les variables avaient donné des corrélations très étroites ;

les variables explicatives, qui se sont classées en première place (% d. ≥ 800 , D. max. et L. cernes), dans les cas précédents (compression axiale et flexion statique), sont maintenant à la dernière et même la largeur des cernes n'est plus du tout corrélée avec la compression de flanc au niveau général, toutes les populations étant regroupées.

ables explica- tives	Infra- densité	Largeur des cernes	Densité max.	Densité min.	% densité ≥ 500 g/dm ³	% densité ≥ 650 g/dm ³	% densité ≥ 800 g/dm ³	Densité max. - densité min.	% hétéro- généité de densité max.	Nombre de couples
	*** 0,631	-	-	*** 0,412	*** 0,483	*** 0,454	-	-	*** - 0,341	98
	*** 0,320	*** 0,327	-	-	*** 0,524	*** 0,358	-	-	-	110
	*** 0,720	*** 0,267	*** 0,341	*** 0,579	*** 0,639	*** 0,557	*** 0,366	-	*** - 0,333	123
	*** 0,457	*** 0,317	*** 0,267	*** 0,459	*** 0,625	*** 0,405	*** 0,293	-	* - 0,201	134
	*** 0,603	-	* 0,224	*** 0,417	*** 0,601	*** 0,505	*** 0,294	-	** - 0,239	465

Tableau n° 20

Valeurs des coefficients de corrélation significatifs
entre la charge maximale atteinte en compression de flanc et les variables explicatives

Les variables explicatives les plus liées à la charge de compression de flanc, classées dans l'ordre décroissant des valeurs de leurs coefficients de corrélation, sont les suivantes :

- Infradensité (I. D.)
- Pourcentage de bois ayant une densité ≥ 500 g/dm³
- Pourcentage de bois ayant une densité ≥ 650 g/dm³
- Moyenne des densités minimales annuelles
- Pourcentage de bois ayant une densité ≥ 800 g/dm³
- Pourcentage de l'hétérogénéité de la densité maximale
- Moyenne des densités maximales annuelles

Nous pouvons faire deux observations à propos de ces résultats :

1°) dans les corrélations entre (D. max.), (% d. ≥ 800 g/dm³) et la charge, les stations A et B (sur périodites) n'ont pas donné de liaison significative ; en revanche, les stations C et D en ont donné. Cela laisse à penser que le type de roche ou de sol est intervenu dans ces corrélations en tant que facteur écologique actif.

2°) la charge de compression de flanc est bien expliquée (d'après les corrélations étroites) par les variables qui rendent compte de la densité moyenne (infradensité) et des pourcentages à 500 et 600 g/dm³. Cette caractéristique mécanique ne dépend que peu des densités maximales et du pourcentage à 800 g/dm³, au contraire de ce qui se passe en flexion statique ou en compression axiale.

Pour exprimer, par un graphique, les liaisons entre la charge de compression de flanc et la variable explicative la plus liée (infradensité), nous avons tracé, dans la figure n° 21, les deux droites de régression de x en y et de y en x.

En comparant nos résultats avec ceux obtenus par KELLER (1968_a), sur *Pseudotsuga menziesii*, nous trouvons certaines oppositions. Il a obtenu des corrélations positives significatives entre la charge maximale en compression de flanc, d'une part, et une largeur des cernes et un angle de tangente aux cernes avec la face radiale de l'éprouvette, d'autre part.

En outre, les liaisons, entre la charge et la densité maximale ou les pourcentages de bois ayant des niveaux de 350, 450 et 550 g/dm³, étaient négatives et non significatives. Enfin, il n'y avait pas de liaison significative entre l'infradensité et la charge de compression de flanc.

Pour *Pinus brutia*, nous avons trouvé que l'infradensité était la première variable explicative de la charge en compression de flanc, mais nous n'avons pas trouvé de corrélation avec la largeur des cernes au niveau général. Les corrélations significatives trouvées avec le niveau 550 de densité ont été, par contre, positives ainsi que la densité maximale. En ce qui concerne l'angle de la tangente aux cernes (qui a été mesuré et considéré comme un facteur contrôlable), avec un procédé différent, nous avons trouvé une liaison significative entre l'angle et la charge en compression de flanc et l'ordinateur a corrigé les valeurs de la charge pour supprimer l'effet de l'angle.

Finalement, il faut noter que le pourcentage de l'hétérogénéité de la densité maximale, ayant donné une corrélation étroite uniquement avec la charge de compression de flanc parmi toutes les variables mécaniques et physiques, peut être considéré comme un critère important pour expliquer la charge de compression de flanc.

...

Charge maximale en
compression de flanc
(kg/cm²)

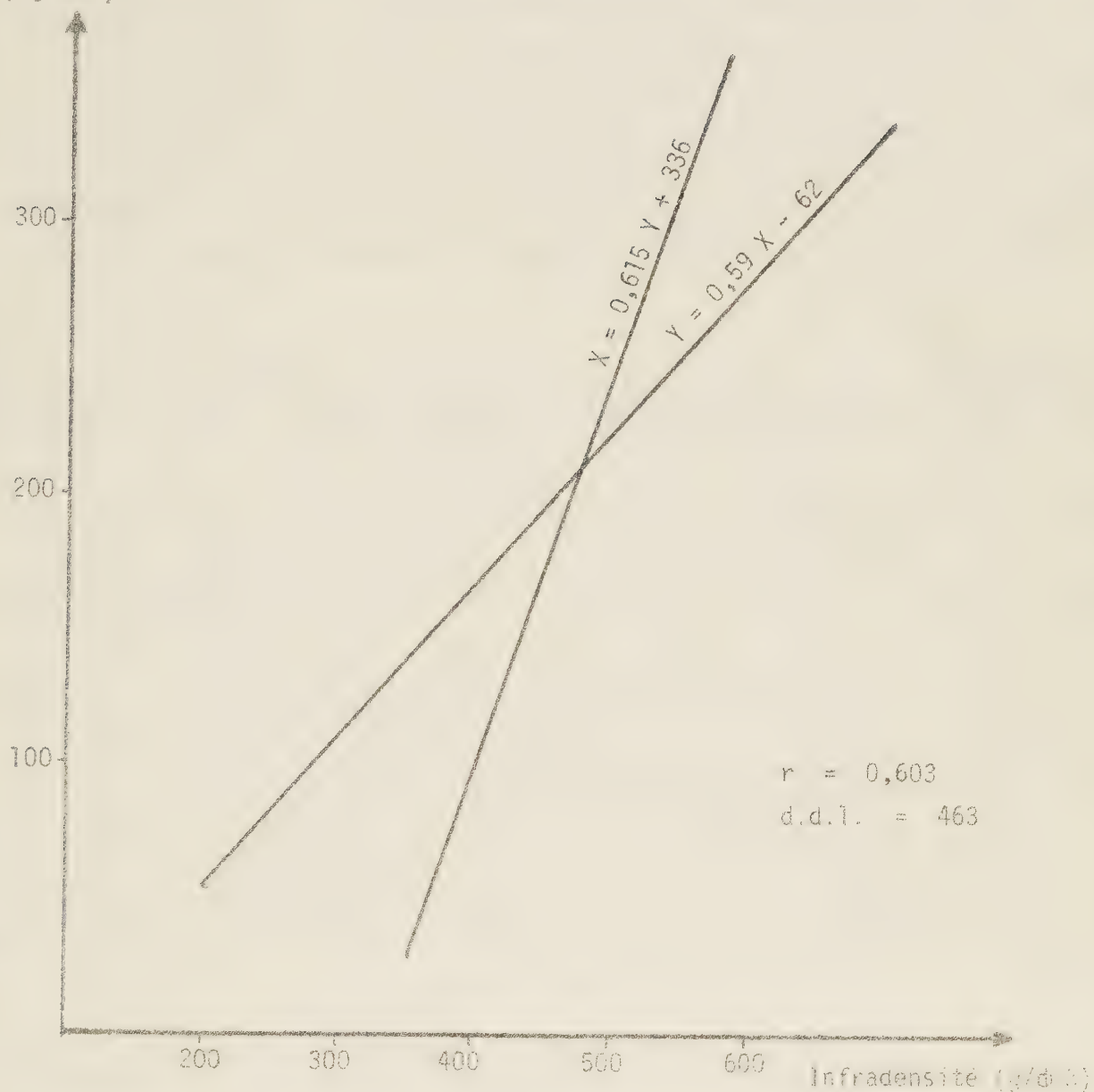


FIGURE n° 21 * DROITES DE REGRESSION ENTRE LA CHARGE MAXIMALE
EN COMPRESSION DE FLANC ET L'INFRADENSITE

III.3.1.5 - Corrélations entre le module d'élasticité en flexion statique et les variables explicatives

Les variables explicatives, ayant donné des liaisons très étroites avec la charge de rupture en flexion statique, sont les mêmes qui se présentent, dans cette corrélation, avec la même importance (tableau n° 21). On peut attribuer cette coïncidence à la forte liaison entre le module d'élasticité et la charge en flexion statique dans tous les niveaux de population, même à l'intérieur des arbres (7 - 21 d. d. l.). Le module d'élasticité augmente avec la présence de bois dense, c'est-à-dire que le bois final, avec un poids spécifique élevé et une faible inclinaison des fibrilles par rapport à l'axe des trachéides, peut avoir une charge de déformation permanente et une charge de rupture élevées.

Variables explicatives	Infra-densité	Largeur des cernes	Densité max.	Densité min.	% densité ≥ 500	% densité ≥ 650	% densité ≥ 800	Densité max. - densité min.	Nombre de couples
A	* 0,215	*** - 0,518	*** 0,421	-	-	** 0,234	*** 0,438	*** 0,338	98
B	*** 0,345	*** - 0,628	*** 0,430	* 0,222	-	-	*** 0,477	*** 0,339	110
C	* 0,206	-	*** 0,373	* 0,208	-	-	*** 0,408	*** 0,282	123
D	*** 0,284	** - 0,244	*** 0,445	** 0,232	-	*** 0,281	*** 0,505	*** 0,261	134
G	*** 0,310	*** - 0,433	*** 0,443	** 0,233	-	** 0,246	*** 0,492	*** 0,298	465

Tableau n° 21

Valeurs des coefficients de corrélation significatifs entre le module d'élasticité en flexion statique et les variables explicatives

* : significatif au seuil de 0,05
 ** : significatif au seuil de 0,02
 *** : significatif au seuil de 0,01

Les variables explicatives les plus importantes dans l'explication du module d'élasticité en flexion statique se classent de la façon suivante, par ordre décroissant des valeurs de leurs coefficients de corrélations :

- Pourcentage du bois ayant une densité ≥ 800 g/dm³

- Moyenne des densités maximales annuelles
- Largeur moyenne des cernes
- Infradensité
- Ecart entre la densité maximale et la densité minimale
- Pourcentage de bois ayant une densité ≥ 500 g/dm³
- Moyenne des densités minimales annuelles.

PARSA D. (1970) a trouvé, chez le hêtre de l'Elbourz (en Iran), une explication du comportement du module d'élasticité en flexion statique qui était corrélé très étroitement à la largeur des cernes, à l'infradensité et au pourcentage de bois ayant une densité ≥ 600 g/dm³, mais indépendant de la densité maximale et de la densité minimale.

Or, chez *Pinus brutia*, sauf le pourcentage de bois de densité ≥ 500 g/dm³, toutes les variables explicatives présentées dans notre étude ont expliqué le module d'élasticité avec des corrélations plus ou moins significatives. Même la densité maximale, qui a donné chez le hêtre un coefficient non significatif, arrive ici, chez le *Pinus brutia*, en deuxième ordre parmi les variables explicatives, avec un coefficient de corrélation (0,442) très significatif au seuil 1 %.

Enfin, pour présenter graphiquement l'importance de la liaison entre le module d'élasticité et la variable la plus explicative (d. ≥ 800 g/dm³), nous avons tracé les droites de régression correspondantes sur la figure n° 22.

...

Module d'élasticité
en flexion statique
(kg/cm²)

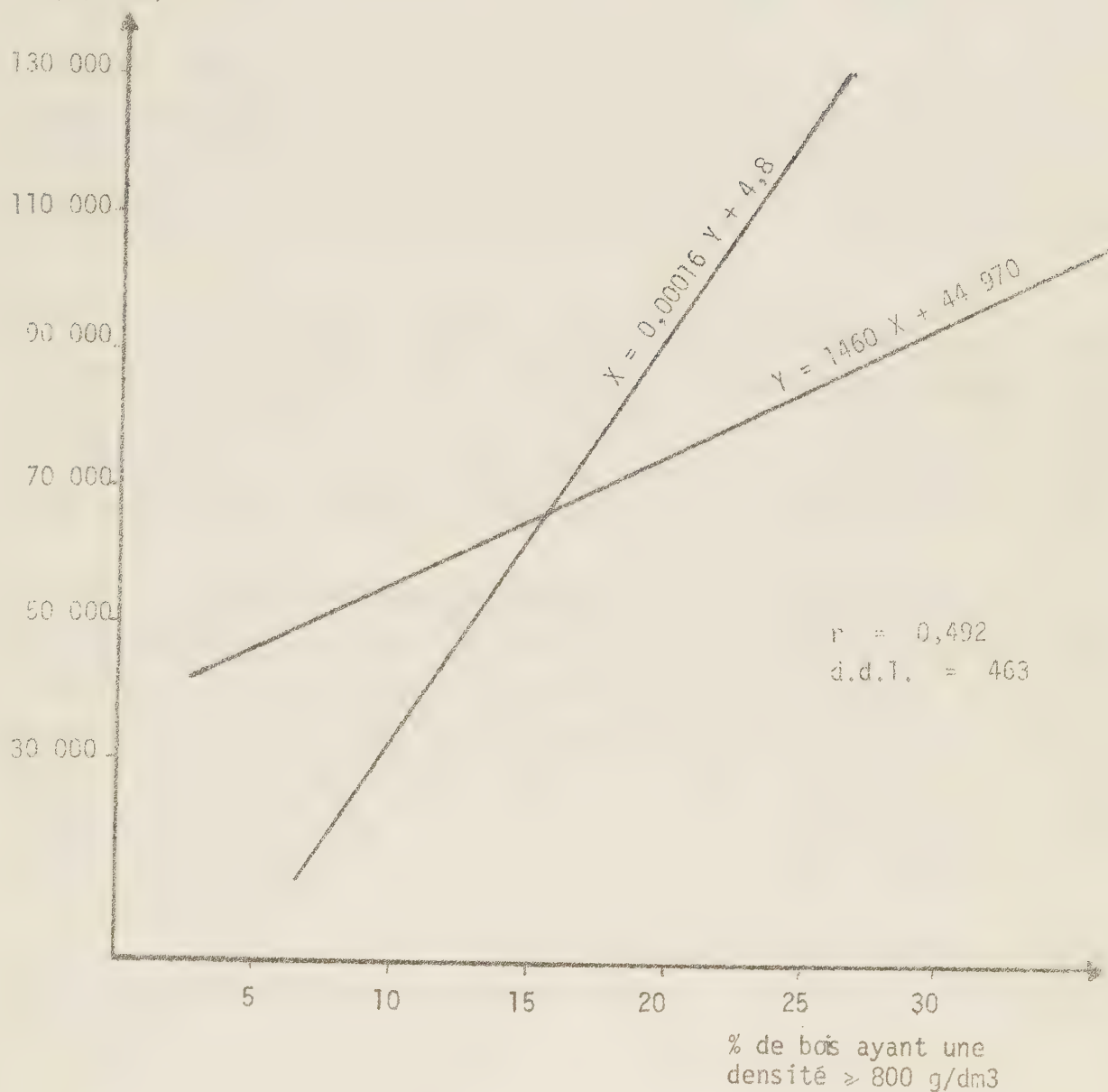


FIGURE n° 22 = DROITES DE REGRESSION ENTRE LE MODULE D'ELASTICITE
EN FLEXION STATIQUE ET LE POURCENTAGE DE BOIS AYANT
UNE DENSITE EGALE OU SUPERIEURE A 800 g/dm³.

III.3.1.6 - Corrélations entre le module d'élasticité longitudinal en compression axiale et les variables explicatives

Le module d'élasticité en compression axiale semble moins lié avec les variables explicatives que le module d'élasticité en flexion statique.

Dans le niveau général, avec 463 degrés de liberté, nous n'avons vu aucune corrélation significative (tableau n°22 ; mais au niveau de la station, certaines variables ont été en liaison significative avec le module, telles que : densité maximale, densité minimale et écart entre les deux et le pourcentage de bois ayant une densité > 500 et > 800 g/dm³

La raison pour laquelle le module d'élasticité en compression axiale est moins expliqué que le module d'élasticité en flexion statique par les variables explicatives, est peut-être l'absence de liaison étroite entre le module en compression axiale et la charge. Ceci conduit à penser que les deux caractères sont de nature différente, donc le module est indépendant de la charge.

On peut expliquer ce phénomène par les raisons suivantes : les variables explicatives ayant donné des corrélations étroites avec la charge en compression axiale ne seraient logiquement pas liées à ce module d'élasticité qui n'a jamais été lui-même lié à la charge. En revanche, en ce qui concerne la module d'élasticité en flexion statique, étant donné qu'il était très lié à la charge en flexion statique, il a été évidemment bien expliqué par les mêmes variables explicatives et dépend alors de la charge (voir tableau n° 21).

D'autre part, il y a aussi une inconnue dans la méthode de déformabilité des pièces en compression axiale ; celle-ci dissimule les liaisons existantes entre le module d'élasticité et la charge.

Finalement, l'application pratique de ce module d'élasticité est beaucoup moins importante que celle ^{du} module d'élasticité en flexion statique qui est d'ailleurs le seul utilisé légalement comme moyen de contrôle, par exemple : poteaux de lignes.

Variables explicatives a- on	Infra- densité	Largeur des cernes	Densité max.	Densité min.	% densité > 500 g/dm3	% densité > 650 g/dm3	% densité > 800 g/dm3	Densité max. - densité min.	Nombre de couples
A	-	-	-	-	-	-	-	-	98
B	-	-	-	* - 0,201	** - 0,248	-	-	-	110
C	-	-	*** 0,253	-	-	-	* 0,219	** 0,245	123
D	-	-	* 0,202	-	-	-	-	-	134
G	-	-	-	-	-	-	-	-	465

Tableau n° 22

Valeurs des coefficients de corrélation significatifs
entre le module d'élasticité longitudinal en compression axiale et les variables
explicatives

...

III.3.1.7 - Corrélations entre la flèche maximale à la rupture en flexion statique et les variables explicatives

Dans les résultats, présentés au tableau n° 23, nous remarquons la même chose que dans la corrélation précédente au niveau général (463 degrés de liberté) où nous n'avons observé aucune corrélation significative. Nous pouvons également attribuer cette cause à la même raison que précédemment, c'est-à-dire : la flèche correspondant à la rupture étant indépendante de la charge en flexion statique (au niveau général), celle-ci ne serait évidemment pas expliquée dans le même niveau par les mêmes variables explicatives.

D'un autre côté, nous trouvons, dans le tableau n° 23, que quelques corrélations significatives sont apparues dans certaines stations, surtout dans la station C où six variables sur huit ont expliqué la flèche avec des corrélations très significatives. Il faut noter en plus que, dans cette station, la flèche est dépendante de la charge, elles sont donc significativement liées, contrairement à ce qui se passait dans le cas précédent (au niveau général).

Variables explicatives	Infra-densité	Largeur des cernes	Densité max.	Densité min.	% densité > 500 g/dm3	% densité > 650 g/dm3	% densité > 800 g/dm3	Densité max. - densité min.	Nombre de couples
A	*** 0,268	** - 0,334	-	-	-	** 0,241	-	-	98
B	-	* - 0,204	-	-	*** 0,280	-	-	-	110
C	*** 0,389	*** - 0,283	** 0,241	-	*** 0,255	*** 0,366	*** 0,277	-	123
D	-	-	-	-	-	-	-	-	134
G	-	-	-	-	-	-	-	-	465

Tableau n° 23

Valeurs des coefficients de corrélation significatifs
entre la flèche de rupture en flexion statique et les variables explicatives

Suivant le résultat obtenu dans cette station C, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

Nous remarquons que plus la densité est élevée ou que le pourcentage du bois ayant une densité supérieure à un certain seuil (500, 650 et 800 g/dm³) est élevé, plus la flexibilité du bois est grande et correspond à une charge de la rupture élevée car la flèche a été trouvée liée à la charge avec un coefficient de corrélation positif et très significatif (0,398).

KELLER R. (1968a) a également trouvé, chez *Pseudotsuga menziesii*, que la flèche maximale correspondant à la rupture en flexion statique était fortement liée au pourcentage de bois ayant une densité égale ou supérieure à un certain seuil (350 à 650 g/dm³) et à la densité maximale. Mais, dans ces résultats, quelques oppositions existent en ce qui concerne la corrélation entre la flèche et la largeur des cernes et l'infradensité, par exemple : il a trouvé que la flèche était en liaison négative très significative avec la largeur et positive non significative avec l'infradensité ; notre étude sur *P. brutia* montre, dans la station C, une corrélation positive entre la flèche et la largeur des cernes avec, au contraire, un coefficient de corrélation très significatif (0,283), d'une part, et avec l'infradensité qui était la variable la plus explicative, d'autre part.

On peut expliquer pourquoi la liaison entre la flèche et la largeur des cernes est positive dans la station C, c'est parce que, d'un côté, la flèche est positivement liée à l'infradensité et que, d'un autre côté, la largeur des cernes est fortement et positivement liée à l'infradensité. Donc le *Pinus brutia* provenant de la station C, chez lequel l'accroissement large fournit des bois de densité moyenne assez élevée, résiste bien en flexion statique avec une forte flexibilité.

...

III.3.2 - CORRELATIONS ENTRE VARIABLES EXPLICATIVES ET CARACTERES PHYSIQUES ET RENDEMENT PAPETIER (VARIABLES A EXPLIQUER)

III.3.2.1 - Définition

Les variables explicatives sont les mêmes que celles qui ont été présentées dans l'étude de corrélations avec les caractéristiques mécaniques.

Les variables "à expliquer" sont le rendement papetier et les caractères physiques suivants :

1°) Retrait radial entre trois degrés d'humidité :

Saturé → sec à l'air (15 % d'humidité)

Sec à l'air → anhydre

Saturé → anhydre ;

2°) Retrait axial entre les mêmes degrés d'humidité ;

3°) Retrait tangentiel entre les mêmes degrés d'humidité ;

4°) Retrait volumétrique entre les mêmes degrés d'humidité.

...

III.3.2.2 - Corrélations entre retraits radiaux et variables explicatives

Les résultats des corrélations sont regroupés dans le tableau d'une façon un peu différente de celle que nous avons utilisée jusqu'ici.

Nous avons rassemblé les résultats donnés par les stations et la population générale en trois groupes : chacun représente le retrait entre deux états d'humidité.

Dans cette étude de corrélation, les variables explicatives sont moins liées aux retraits radiaux qu'aux caractéristiques mécaniques. Les coefficients de corrélation significatifs présentés ici sont moins nombreux, d'une part, et plus faibles, d'autre part, que les coefficients présentés dans les études de corrélation avec les caractères mécaniques.

Les corrélations significatives entre les trois cas de retrait radial et les variables explicatives se classent de la façon suivante, dans l'ordre décroissant des valeurs de leurs coefficients de corrélation :

- a) cas du retrait radial entre les états saturé et sec à l'air :
 - % de bois ayant une densité ≥ 800 g/dm³
 - moyenne des densités maximales annuelles
 - largeur moyenne des cernes ;

- b) cas du retrait radial entre les états sec à l'air et anhydre :
 - largeur moyenne des cernes
 - % de bois ayant une densité ≥ 800 g/dm³
 - moyenne des densités maximales annuelles
 - moyenne des densités minimales annuelles ;

- c) cas du retrait radial entre les états saturé et anhydre :
 - % de bois ayant une densité ≥ 800 g/dm³
 - largeur moyenne des cernes
 - moyenne des densités maximales annuelles
 - moyenne des densités minimales annuelles
 - écart entre densité maximale et densité minimale (D. max. - D. min.)

entre degrés humidité	Station	Infra- densité	Largeur des cernes	Densité max.	Densité min.	% de bois ayant une densité ≥ 500 g/dm ³	% de bois ayant une densité ≥ 650 g/dm ³	% de bois ayant une densité ≥ 800 g/dm ³	Ecart entre densité max. et densité min.
séché et à 15 %	A	-	*** - 0,551	*** 0,350	-	-	-	*** 0,335	* 0,195
	B	** 0,249	*** - 0,369	*** 0,288	-	-	-	*** 0,396	** 0,234
	C	** -0,241	-	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	*** 0,332	-	-	-	*** 0,436	* 0,214
	G	-	*** - 0,290	*** 0,306	-	-	-	*** 0,369	* 0,197
à 15 % anhydre	A	-	*** - 0,423	-	-	-	-	-	-
	B	-	*** - 0,338	* 0,195	-	-	-	*** 0,193	-
	C	-	-	*** 0,308	-	-	-	*** 0,279	*** 0,328
	D	-	*** - 0,345	*** 0,301	*** 0,399	-	-	*** 0,379	-
	G	-	*** - 0,332	*** 0,288	* 0,222	-	-	*** 0,312	-
nature anhydre	A	-	*** - 0,527	-	-	-	-	-	-
	B	* 0,229	*** - 0,465	*** 0,314	-	-	-	*** 0,400	** 0,236
	C	-	-	** 0,241	-	-	-	0,209	* 0,265
	D	-	*** - 0,265	*** 0,348	*** 0,275	-	-	*** 0,447	-
	G	-	*** - 0,344	*** 0,339	* 0,216	-	-	*** 0,388	* 0,201

Tableau n° 24

Coefficients de corrélation significatifs
entre les retraits radiaux et les variables explicatives

* : significatif au seuil de 0,05
 ** : significatif au seuil de 0,02
 *** : significatif au seuil de 0,01

...

Le retrait radial semble être très influencé par le pourcentage de bois de densité élevée : une texture élevée ne suffit pas à augmenter beaucoup la variation dimensionnelle entre les états hygrométriques, il faut encore que cette texture corresponde à un bois très dense (plus de 800 g/dm³), probablement parce que la variation dimensionnelle est supérieure dans les cellules à parois épaisses, les cavités cellulaires ne jouant pas de rôle dans le retrait.

La densité moyenne de bois, correspondant à l'infradensité ou à la densité du bois final (égale à 500 et 650 g/dm³), n'est pas un caractère lié au retrait radial, parce qu'elle n'a donné que peu de corrélations significatives avec celui-ci, et pas dans le cas du niveau général avec 463 d. d. l.. Deux stations (B et C) présentent des coefficients de corrélations entre l'infradensité et le retrait radial (saturé - sec à l'air) tantôt positifs, tantôt négatifs. Cette observation est analogue à celle de POLGE (1963) au sujet du bois de Douglas (*Pseudotsuga menziesii*).

La corrélation négative entre les retraits radiaux et la largeur des cernes montre que le retrait diminue en fonction de l'accroissement annuel. On peut attribuer ce phénomène à la diminution du pourcentage de bois de densité très élevée et à la densité maximale annuelle dans les accroissements rapides et larges des cernes.

Dans la figure n° 24, nous avons tracé la droite de régression correspondant à la corrélation très étroite entre le retrait radial (entre l'état saturé et sec à l'air à 15 % d'humidité) et le pourcentage de bois ayant une densité > 800 g/dm³, afin de montrer graphiquement cette liaison.

...

% rétractibilité radiale
(saturé-sec à l'air)

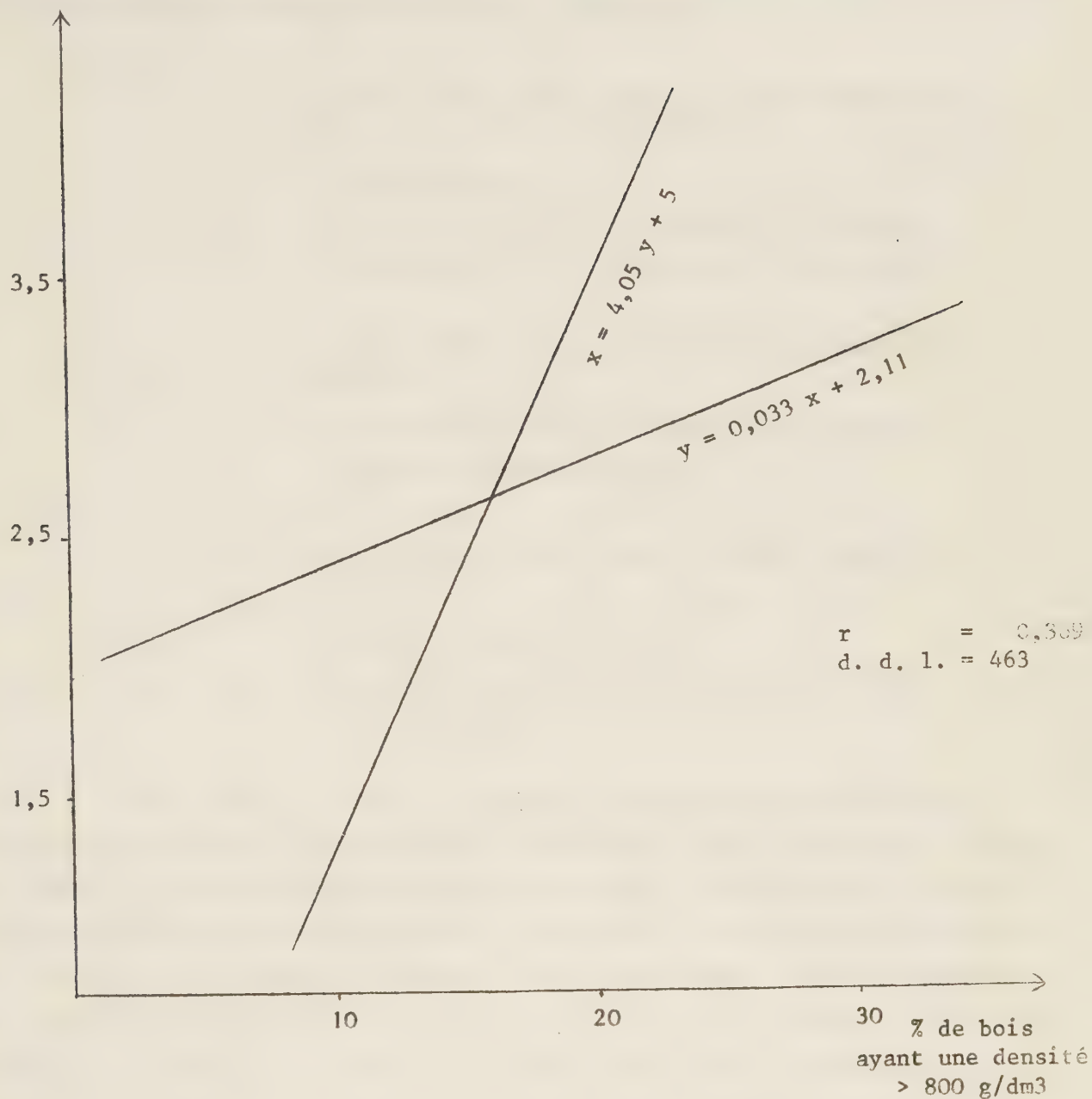


FIGURE N° 24

Droites de régression entre le retrait radial de l'état saturé à l'état sec à 15 % d'humidité et le pourcentage de bois ayant une densité égale ou supérieure à 800

III.3.2.3 - Corrélations entre les retraits axiaux et les variables explicatives

D'après les résultats portés au tableau n° 25, nous classons comme suit, dans l'ordre décroissant des valeurs des coefficients de corrélation, les variables donnant des liaisons significatives :

a) cas du retrait axial entre les états saturé et sec à l'air (à 15 % d'humidité) :

- infradensité
- pourcentage de bois de densité ≥ 500 g/dm³
- pourcentage de bois de densité ≥ 650 g/dm³ ;

b) cas du retrait axial entre les états sec à l'air et anhydre :

- pourcentage de bois de densité ≥ 500 g/dm³
- largeur moyenne des cernes ;

c) cas du retrait axial entre les états saturé et anhydre :

- largeur moyenne des cernes
- pourcentage de bois de densité ≥ 500 g/dm³
- infradensité.

Nous avons vu, dans le paragraphe précédent, que les retraits radiaux ont été le mieux expliqués par le pourcentage de bois très dense (plus de 800 g/dm³) et par la moyenne des densités maximales, tandis que les retraits axiaux, au contraire, sont susceptibles d'augmenter en présence de bois de densité moyenne et à diminuer en présence de bois très dense : il y a, en effet, une corrélation étroite positive entre ces derniers et l'infradensité et le pourcentage de bois ayant une densité > 500 g/dm³ et des corrélations négatives significatives dans quelques stations avec le pourcentage de bois très dense (plus de 800 g/dm³) et la moyenne des densités maximales annuelles.

Les corrélations positives entre les retraits axiaux, d'une part, la largeur de cernes, l'infradensité réunies, d'autre part, peut nous indiquer que le retrait axial est un caractère lié à la présence de bois de compression, caractérisé par des cernes larges et une infradensité élevée.

Entre degrés humidité	Station	Infra- densité	Largeur des cernes	Densité max.	Densité min.	% de bois ayant une densité ≥ 500 g/dm3	% de bois ayant une densité ≥ 650 g/dm3	% de bois ayant une densité ≥ 800 g/dm3	Ecart entre densité max. et densité min.
Saturé à l'air à 15 % humidité	A	** 0,246	* 0,202	-	-	-	-	-	-
	B	-	*** 0,337	-	-	*** 0,330	-	*** - 0,233	** - 0,236
	C	*** 0,353	-	-	-	-	*** 0,296	-	-
	D	-	-	-	-	* 0,190	-	-	-
	G	** 0,258	-	-	-	* 0,224	* 0,204	-	-
à l'air à 15 % humidité anhydre	A	*** 0,299	-	-	-	*** 0,343	*** 0,312	-	-
	B	-	*** 0,303	-	-	-	-	-	-
	C	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	** 0,237	-	-	-
	G	-	* 0,192	-	-	* 0,193	-	-	-
Saturé anhydre	A	*** 0,328	*** 0,317	-	* 0,227	*** 0,336	** 0,255	* - 0,190	*** - 0,283
	B	-	*** 0,412	*** - 0,266	-	* 0,209	-	*** - 0,261	* - 0,206
	C	** 0,232	-	-	-	-	*** 0,260	-	-
	D	*** 0,265	** 0,253	-	-	*** 0,273	-	-	-
	G	* 0,210	*** 0,267	-	-	* 0,215	-	-	-

Tableau n° 25

Valeurs des coefficients de corrélation significatifs
entre les retraits axiaux et les variables explicatives

Dans le plan anatomique, le bois de compression est constitué de cellules arrondies en section transversale et courtes, avec des microfibrilles très inclinées par rapport à l'axe des cellules en section longitudinale. Cette inclinaison influe sur la variation de dimension longitudinale au cours des variations de l'humidité du bois.

BARBER N. F. et MEYLAN B. A. (1964) ont mis en parallèle, chez *Pseudotsuga menziesii* et *Pinus radiata*, l'augmentation du retrait axial dans deux cas (passage de l'état saturé à l'état sec à l'air) et (passage de l'état saturé à l'état anhydre) quand l'angle des microfibrilles augmente.

Les droites de régression de la figure n° 25 montrent la liaison entre l'infradensité et le retrait axial entre les états saturé et sec à l'air.

...

% retrait axial
saturé - sec à l'air

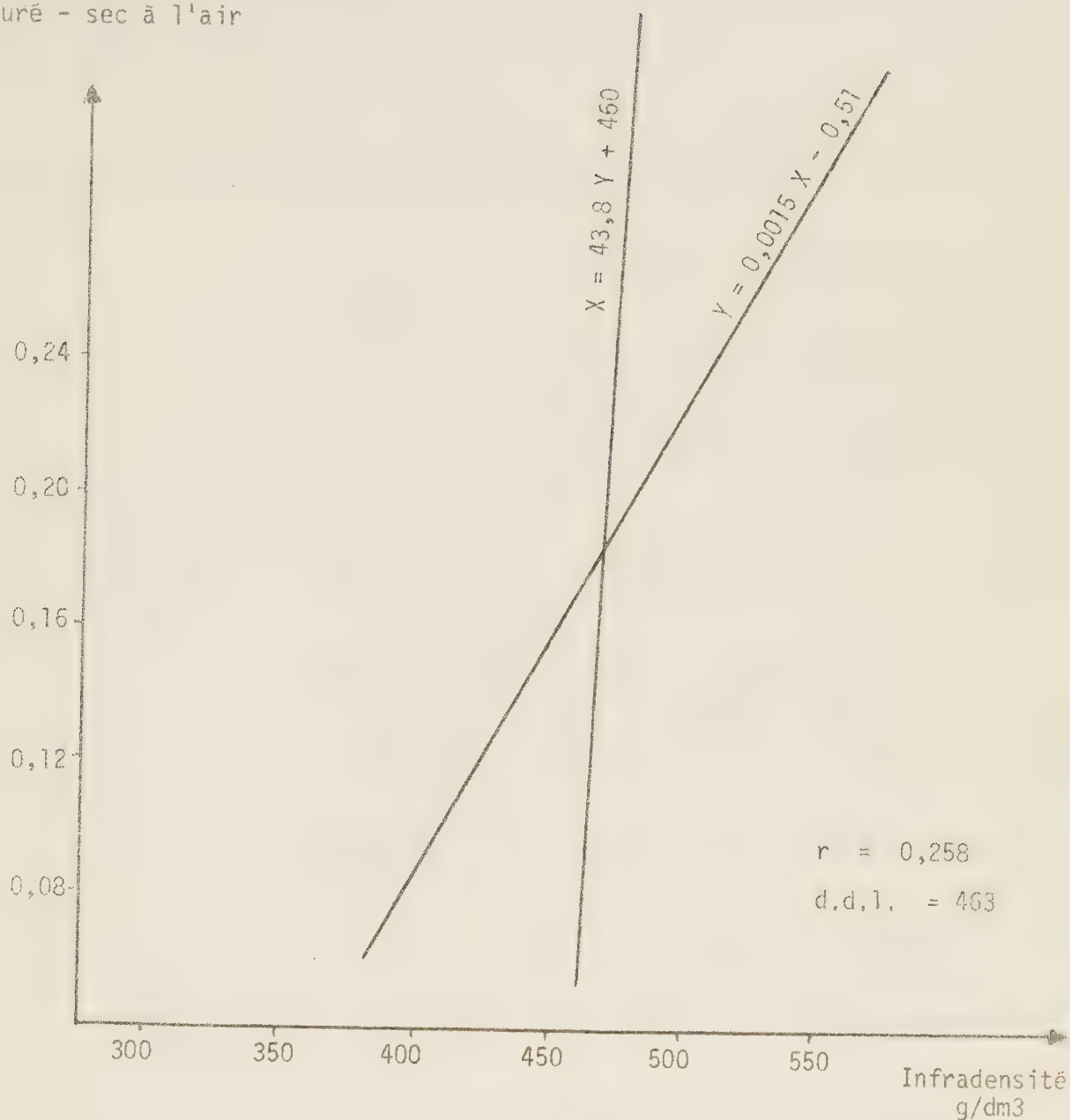


FIGURE n° 25 = DROITES DE REGRESSION ENTRE LE RETRAIT AXIAL DE
L'ETAT SATURÉ A L'ETAT SEC A L'AIR ET L'INFRADENSITÉ

III.3.2.4 - Corrélations entre les retraits tangentiels et les variables explicatives

Les résultats, portés dans le tableau n° 26 ci-après, nous montrent l'importance de la variable exprimant la présence d'une densité élevée dans le bois, d'une part, et la ressemblance entre celles-ci et les résultats des corrélations relatives aux retraits radiaux, d'autre par (sauf, ici, l'absence de corrélation entre le retrait tangentiel et la largeur des cernes et la moyenne des densités minimales annuelles).

Les variables explicatives ayant des corrélations étroites avec les retraits tangentiels sont classées de la façon suivante :

- a) cas du retrait tangentiel entre les états saturé et sec à l'air :
 - moyenne des densités maximales annuelles
 - pourcentage de bois ayant une densité ≥ 800 g/dm³
 - écart entre densité maximale et densité minimale (D. max. - D. min.) ;
- b) cas du retrait tangentiel entre les états sec à l'air et anhydre :
 - pourcentage de bois de densité ≥ 800 g/dm³
 - moyenne des densités maximales annuelles
 - écart entre densité maximale et densité minimale (D. max. - D. min.) ;
- c) cas du retrait tangentiel entre les états saturé et anhydre :
 - moyenne des densités maximales annuelles
 - pourcentage de bois de densité ≥ 800 g/dm³
 - écart entre densité maximale et densité minimale (D. max. - D. min.).

Le classement nous conduit à faire certaines observations :

1°) les variables explicatives, ayant donné les coefficients les plus élevés, telles que la moyenne des densités maximales annuelles et le pourcentage de bois final de densité supérieure à 800 g/dm³, sont des variables obtenues à partir de courbes densitométriques, ce qui représente un avantage en faveur de la méthode microdensitométrique, car les variables classiques, telles que ...

tre grés midité	Station	Infra- densité	Largeur des cernes	Densité max.	Densité min.	% de bois ayant une densité ≥ 500 g/dm3	% de bois ayant une densité ≥ 650 g/dm3	% de bois ayant une densité ≥ 800 g/dm3	Ecart entre densité max. et densité min.
turé à l'air 15 % midité	A	-	*** - 0,379	*** 0,283				*** 0,261	
	B	* 0,212	- 0,303	* 0,379	* 0,229			*** 0,380	*** 0,277
	C	* 0,206	-	-	-	-	* 0,210	-	0,214
	D	-	-	*** 0,280	-	-	-	*** 0,257	-
	G	-	-	*** 0,263	-	-	-	** 0,235	* 0,211
à l'air 15 % midité nhydre	A	* 0,194	* - 0,207	* 0,226	-	-	-	* 0,223	-
	B	*** 0,275	*** - 0,353	*** 0,369	-	-	-	*** 0,439	*** 0,297
	C	-	-	-	-	-	-	-	*** 0,309
	D	-	*** - 0,252	-	-	-	-	0,242	-
	G	-	-	*** 0,212	-	-	-	** 0,233	* 0,192
turé nhydre	A	-	*** - 0,379	*** 0,319	-	-	-	*** 0,299	-
	B	-	*** - 0,387	*** 0,440	** 0,243	-	-	*** 0,475	*** 0,336
	C	** 0,229	-	* 0,193	-	-	* -0,209	-	*** 0,309
	D	-	-	*** 0,266	-	-	-	*** 0,299	-
	G	-	-	+++ 0,291	-	-	-	+++ 0,279	++ 0,246

Tableau n° 26

Valeurs des coefficients de corrélation significatifs
entre les retraits tangentiels et les variables explicatives

l'infradensité ou la largeur des cernes, n'ont pas donné de résultats aussi satisfaisants : les corrélations présentées entre ces dernières et les retraits tangentiels ne sont pas significatives au niveau général de population de *Pinus brutia* (463 d.d.l.) et les coefficients significatifs présentés par les stations entre le retrait et l'infradensité, pour 98, 108, 121 et 132 d.d.l., sont tantôt positifs et tantôt négatifs.

2°) les corrélations très étroites entre les retraits tangentiels et les retraits radiaux, d'une part, et les variables exprimant la présence d'une zone de densité élevée dans le bois (% d. > 800 g/dm³ et D.max.), d'autre part, montrent que c'est le bois final qui est le plus responsable de l'augmentation des retraits linéaires par leurs parois épaisses.

Nous avons vu, d'après les résultats, que le bois initial (représenté par la densité minimale) a contribué, avec le bois final, au retrait radial, tandis que le bois final est le seul qui ait donné le retrait tangentiel ; c'est donc une raison pour laquelle le retrait tangentiel est plus grand que le retrait radial, le bois final ayant des parois épaisses et plus anisotropes que le bois initial.

VENET (1963b) a expliqué ce phénomène par le retrait radial qui est égal à la somme des retraits des couches successives du bois d'été (final) et du bois de printemps (initial), tandis que le retrait tangentiel est conditionné par le bois final qui entraîne le retrait du bois initial.

Sur le plan anatomique, le retrait tangentiel élevé vient surtout de la très grande épaisseur des trachéides du bois final (d'été), qui donnent beaucoup de matière ligneuse dans un volume déterminé ; en revanche, l'angle des microfibrilles a une action négative sur le retrait tangentiel.

MADDERN Harris J. et MEYLAN B. A. (1965) ont montré, sur *Pinus radiata*, que le retrait tangentiel est plus élevé dans le bois final que le bois initial, tandis que l'angle des microfibrilles y est plus aigu. Les mêmes auteurs ont encore montré que le retrait tangentiel diminuait avec l'augmentation de l'angle, soit dans le bois final, soit dans le bois initial

et que, au contraire, le retrait axial augmentait rapidement quand l'angle des microfibrilles s'accroissait ; la différence de comportement du retrait axial entre le bois normal et le bois de compression serait due à la variation entre leurs angles : dans le bois de compression, les fibrilles sont plus inclinées et font un angle plus grand que celui que l'on observe dans le bois normal, ce qui fait augmenter le retrait axial.

Dans la figure n° 26, la droite de régression montre la liaison entre D.max. et le retrait tangentiel entre les états saturé et sec à l'air parce que, dans la pratique, c'est la connaissance des variations de dimensions entre l'état saturé ("bois vert") et l'état sec à l'air qui est importante.

...

retractibilité tangentielle
(saturé - sec à l'air)

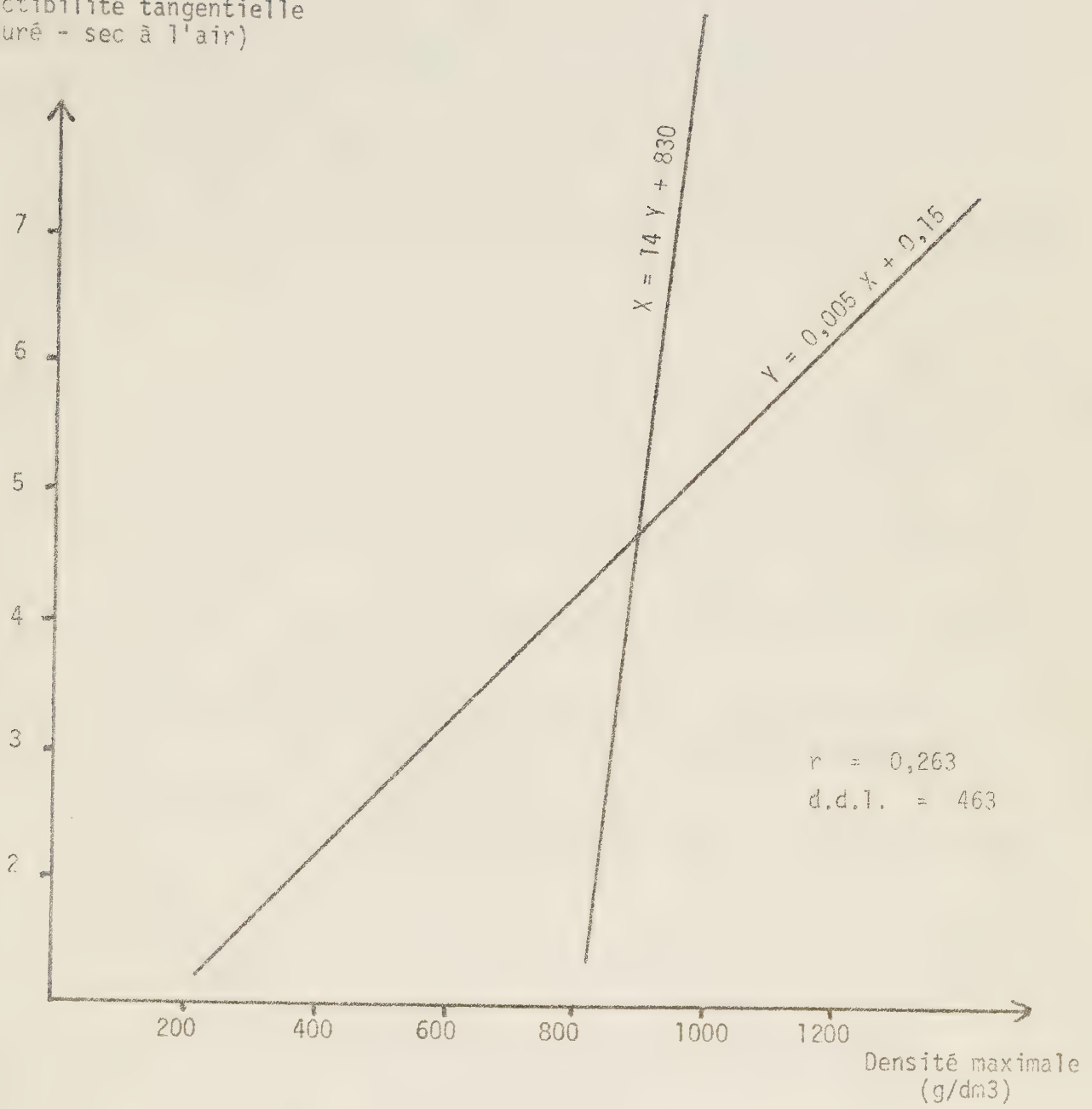


FIGURE n° 26 = DROITES DE REGRESSION ENTRE LE RETRAIT TANGENTIEL DE L'ETAT SATURÉ A L'ETAT SEC A L'AIR A 15 DEGRES D'HUMIDITE ET LA DENSITE MAXIMALE ANNUELLE.

III.3.2.5 - Corrélations entre les retraits volumétriques et les variables explicatives

Les résultats, présentés dans le tableau n° 27 ci-après, sont très analogues aux résultats déjà obtenus dans le cas du retrait radial et du retrait tangentiel. En effet, le retrait volumétrique, comme nous l'avons déjà vu dans le paragraphe II.226 page 40, est à peu de choses près la somme des trois retraits linéaires : retrait radial, retrait axial et retrait tangentiel et étant donné que le retrait axial est très faible vis à vis des autres retraits, le retrait volumétrique varie comme le retrait radial et le retrait tangentiel : il est expliqué par les mêmes variables qui aboutissent au même classement en fonction des valeurs décroissantes des coefficients de corrélation :

a) cas du retrait entre les états saturé et sec à l'air :

- pourcentage de bois de densité ≥ 800 g/dm³
- moyenne des densités maximales annuelles
- écart entre densité maximale et densité minimale (D. max. - D. min.) ;

b) cas du retrait entre les états sec à l'air et anhydre :

- pourcentage de bois de densité ≥ 800 g/dm³
- moyenne des densités maximales annuelles
- largeur des cernes
- écart entre densité maximale et densité minimale (D. max. - D. min.) ;

c) cas du retrait entre les états saturé et anhydre :

- pourcentage de bois de densité ≥ 800 g/dm³
- moyenne des densités maximales annuelles
- écart entre densité maximale et densité minimale (D. max. - D. min.)
- largeur moyenne des cernes.

Nous remarquons, dans ces résultats, que la station C a donné le moins de liaisons significatives; alors que toutes les autres stations ont donné des coefficients très significatifs entre le retrait volumétrique et % d. ≥ 800 g/dm³, qui est la première variable explicative, elle n'en a donné que dans un seul cas entre les états sec à l'air et anhydre. D'autre part, les corrélations

entre température humidité	Station	Infrar- densité	Largeur des cernes	Densité max.	Densité min.	Z de bois ayant une densité ≥ 500 g/dm ³	Z de bois ayant une densité ≥ 650 g/dm ³	Z de bois ayant une densité ≥ 800 g/dm ³	Ecart entre densité max. et densité min.
Saturé à l'air à 15 % humidité	A	-	*** - 0,476	*** 0,356	-	-	-	*** 0,323	-
	B	*** 0,278	*** - 0,330	*** 0,354	** 0,232	-	-	*** 0,409	** 0,246
	C	-0,208	-	-	-	-	-	-	** 0,211
	D	-	-	*** 0,342	-	-	-	*** 0,382	** 0,216
	G	-	-	*** 0,320	-	-	-	*** 0,338	** 0,222
à l'air à 15 % humidité anhydre	A	-	*** - 0,384	** 0,230	-	-	-	** 0,230	** 0,235
	B	* 0,201	*** - 0,332	*** 0,343	** 0,231	-	-	*** 0,354	-
	C	-	-	*** 0,287	-	-	-	** 0,233	*** 0,392
	D	** 0,229	*** - 0,338	** 0,233	*** 0,338	-	* 0,228	*** 0,372	-
	G	-	** - 0,226	*** 0,304	-	-	-	*** 0,327	* 0,197
Saturé anhydre	A	-	*** - 0,474	*** 0,343	-	-	-	*** 0,331	* 0,194
	B	*** 0,322	*** - 0,423	*** 0,420	** 0,241	-	* 0,195	*** 0,487	*** 0,315
	C	* -0,190	-	** 0,232	-	-	-	-	*** 0,314
	D	-	-	*** 0,345	*** 0,254	-	-	*** 0,427	-
	G	-	** - 0,228	*** 0,352	-	-	-	*** 0,377	** 0,245

Tableau n° 27

Valeurs des coefficients de corrélation significatifs
entre les retraits volumétriques et les variables explicatives

avec la largeur moyenne des cernes y est négative, au contraire de ce que l'on observe dans les autres stations. Ceci conduit à penser que sur cette station s'élabore du bois de propriétés différentes de celui des autres stations.

Pour mieux montrer la liaison entre le retrait volumétrique et la variable explicative la plus liée, nous présentons, dans la figure n° 27 la droite de régression entre le % d. > 800 g/dm³ et le retrait entre les états saturé et sec à l'air.

...

% retrait volumétrique
saturé - sec à l'air

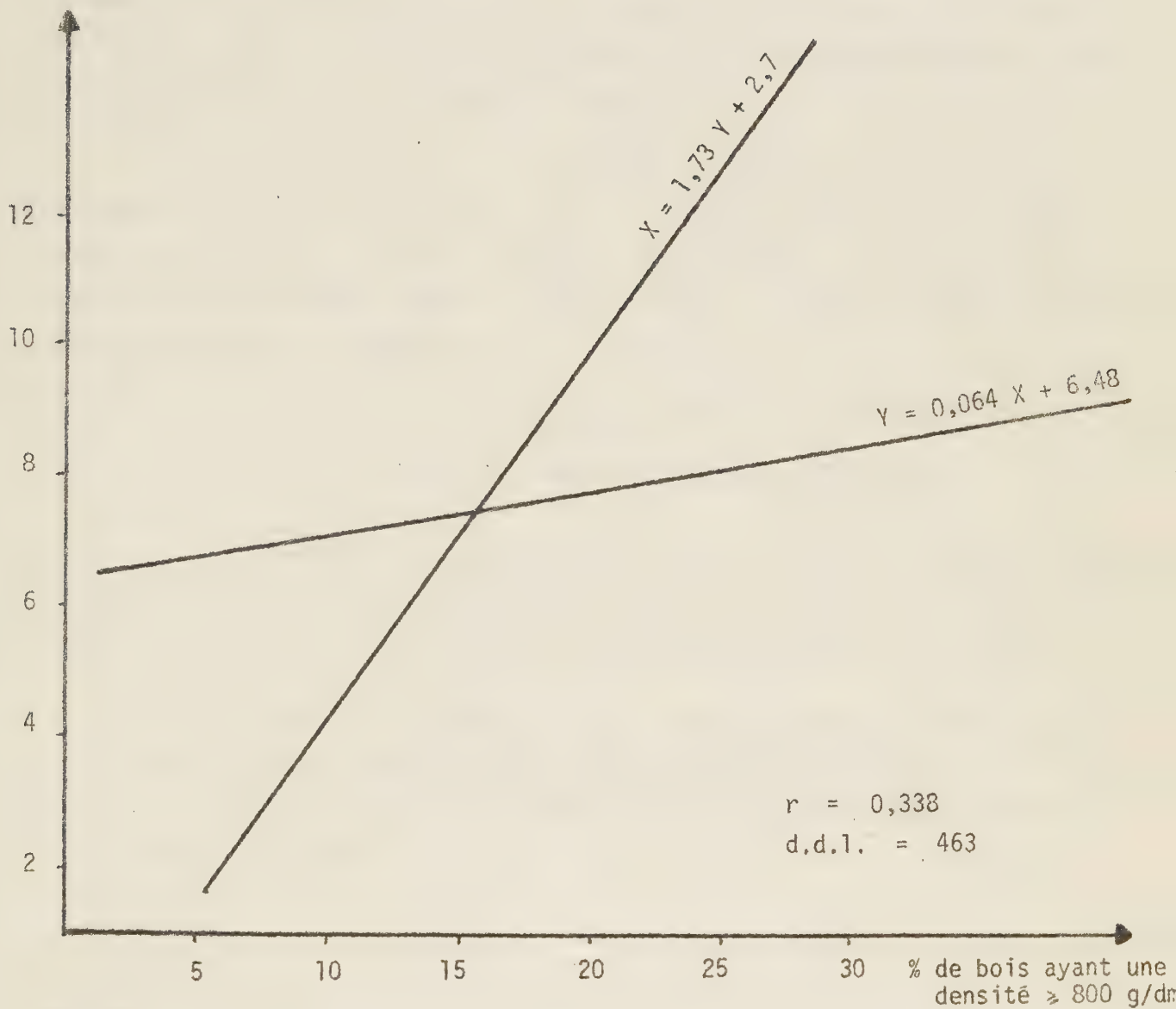


FIGURE n° 27 = DROITES DE REGRESSION ENTRE LE RETRAIT VOLUMETRIQUE DE L'ETAT SATURE A L'ETAT SEC A L'AIR ET LE POURCENTAGE DE BOIS AYANT UNE DENSITE EGALE OU SUPERIEURE A 800 g/dm³.

III.3.2.6 - Corrélation entre le rendement en fibres et les variables explicatives

Cette corrélation a été recherchée dans les études portant sur les carottes de sondage, ce qui diminue la possibilité d'avoir des corrélations car le nombre de degrés de liberté n'est pas très élevé au niveau de la station (26 d.d.l.), mais on peut obtenir un résultat plus sûr au niveau général parce que le nombre de degrés de liberté s'y monte à 110.

Nous trouvons, dans les résultats portés au tableau n° 28, que le rendement en fibres n'est pas très lié aux variables explicatives présentées comme dans le cas des caractères physiques et mécaniques. Celles qui donnent des corrélations significatives se classent comme suit, en fonction des valeurs décroissantes de leurs coefficients de corrélation :

- écart entre densité maximale et densité minimale
(D. max. - D. min.)
- moyenne des densités minimales annuelles.

Au niveau des stations, avec 26 degrés de liberté, la station B est la seule à avoir donné des corrélations significatives avec comme variable explicative : Densité maximale et Ecart entre Densités maximale et minimale.

La présence de liaisons et leur intensité semblent pouvoir dépendre de la station par plusieurs facteurs, tels que l'âge du peuplement, car la station B est différente des autres stations du point de vue de l'âge des arbres, ceux-ci étant plus jeunes.

Nous pouvons signaler la corrélation très étroite qui existe entre le rendement en fibres et l'écart entre la densité maximale et la densité minimale qui a été trouvée dans la station B avec un coefficient de corrélation très significatif (0,586) avec 26 degrés de liberté et dans la population générale avec un coefficient très significatif (0,303) avec 110 degrés de liberté.

Ceci indique que l'hétérogénéité du bois, qui présente un inconvénient dans certaines fabrications, présente ici un avantage dans l'industrie papetière, le rendement en fibres tend à augmenter quand l'hétérogénéité devient plus élevée.

Dans la figure n° 28, nous présentons les droites de régressions du rendement en fibres en fonction de l'écart entre la densité maximale et la densité minimale (hétérogénéité) et de l'écart en fonction du rendement afin de montrer graphiquement la liaison étroite qui existe entre les deux caractéristiques de la qualité du bois de *Pinus brutia*.

Variables explicatives	Infra-densité	Largeur des cernes	Densité max.	Densité min.	% densité ≥ 500 g/dm ³	% densité ≥ 650 g/dm ³	% densité ≥ 800 g/dm ³	Densité max. - densité min.	Nombre de couples
A	-	-	-	-	-	-	-	-	98
B	-	-	* 0,428	-	-	-	-	*** 0,586	110
C	-	-	-	-	-	-	-	-	123
D	-	-	-	-	-	-	-	-	134
G	-	-	-	* -0,202	-	-	-	*** 0,303	465

Tableau n° 28

Valeurs des coefficients de corrélation significatifs
entre le rendement en fibres et les variables explicatives

...

rendement
en fibres

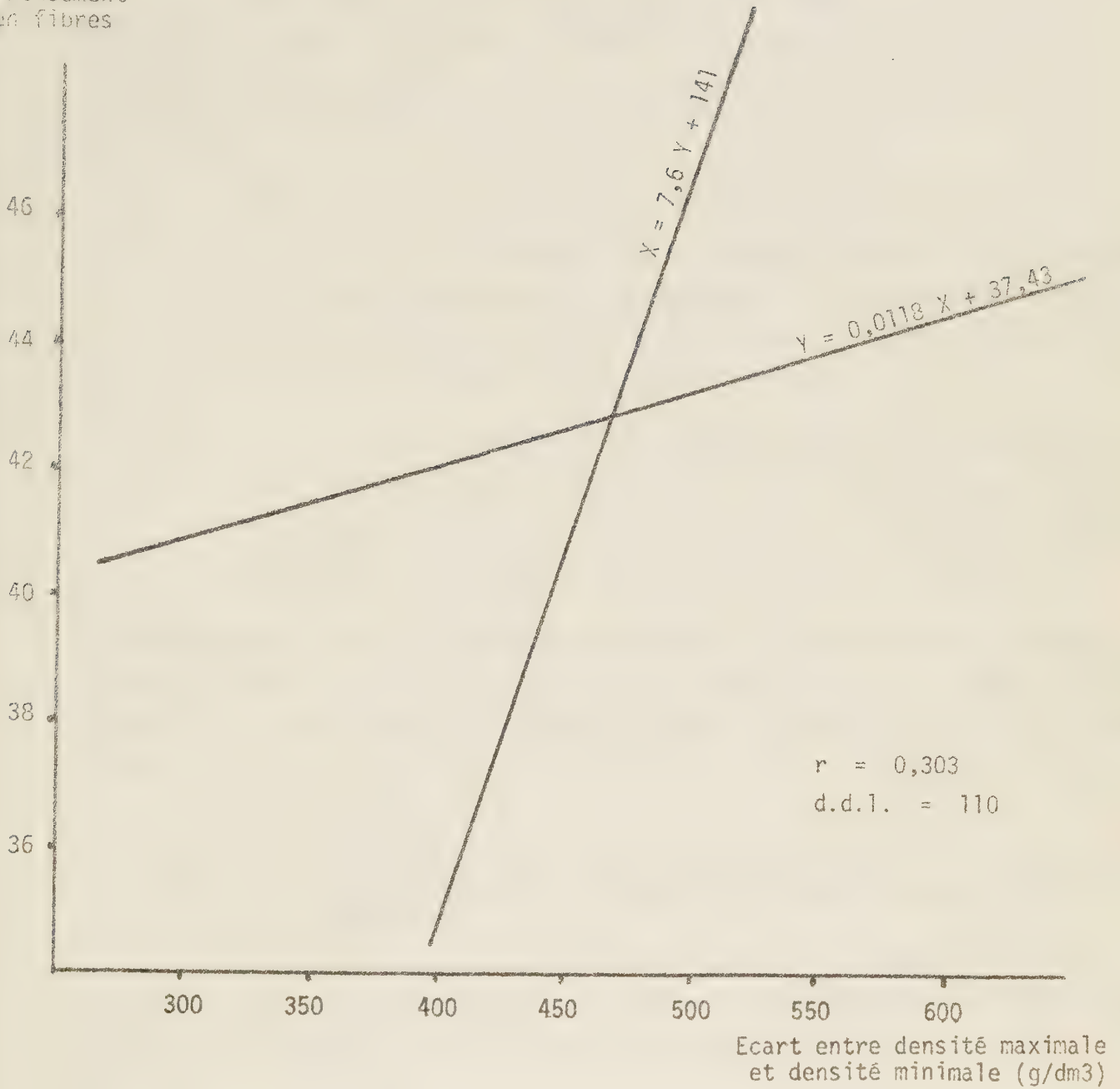


FIGURE n° 28 = DROITES DE REGRESSION ENTRE LE RENDEMENT EN FIBRES ET L'ECART ENTRE LA DENSITE MAXIMALE ET LA DENSITE MINIMALE ANNUELLES.

III.3.3 - CORRELATIONS GENERALES ENTRE DIVERS CARACTERES

III.3.3.1 - Définition

Nous avons déjà montré les corrélations entre : caractères non destructifs (largeur des cernes, infradensité et composantes de la densité), considérés comme des variables explicatives et essais destructifs (physiques et mécaniques), considérés comme des variables à expliquer.

Nous parlerons ici de l'étude des corrélations suivantes :

1°) corrélations des caractères essentiels de la croissance (largeur des cernes et infradensité) et des caractères de rendement en fibres et en résine, entre eux et avec d'autres caractères physiques, mécaniques et microdensitométriques.

2°) corrélations des caractères individuels des arbres : âge, hauteur, diamètre, pentes de terrain, hauteur de prélèvement des échantillons et excentricité avec tous les caractères physiques, mécaniques, microdensitométriques et le rendement en fibres.

Les corrélations ont été calculées sur 28 couples de valeurs prises au niveau général de toutes les stations réunies et 7 couples au niveau de chaque station, chaque valeur représentant une moyenne de toutes les mesures obtenues sur chaque arbre.

III.3.3.2 - Corrélations entre la largeur moyenne des cernes et d'autres caractères

Les corrélations entre la largeur moyenne des cernes et certains caractères physiques et mécaniques ont déjà été présentées quand la largeur des cernes y était une variable explicative (paragraphe III.3.1.1).

Nous présentons ici les corrélations avec les caractéristiques suivantes :

- infradensité (I.D.)
- humidité (H.)
- composantes de la densité (D.max, D.min., % d. > 800, etc...)
- hétérogénéité de la densité maximale.

...

Dans le tableau ci-après (29), les coefficients de corrélations significatifs sont regroupés au niveau des stations (A, B, C et D) et au niveau général (G) de toutes les populations de *Pinus Brutia* réunies. Les caractères qui ont donné des corrélations significatives avec la largeur moyenne des cernes sont les suivantes :

a) pourcentage de l'hétérogénéité des densités maximales : le coefficient général est négatif et le plus élevé, c'est-à-dire que plus les cernes sont larges, plus les densités maximales sont homogènes. Ceci confirme l'intérêt de cette caractéristique qui n'avait jamais été étudiée jusqu'ici ;

b) densité minimale annuelle où la corrélation avec la largeur des cernes est négative et est très significative. Cette signification a été présentée uniquement pour la station B. Une largeur de cernes élevée va de pair avec une densité basse dans la zone du bois initial par la formation de trachéides à parois minces et à larges cavités.

POLGE H. et KELLER R. (1968) ont montré que, dans *Pinus silvestris*, la densité minimale a diminué quand on a provoqué l'augmentation de la largeur des cernes par un apport artificiel en eau ;

c) pourcentage de bois de densité $> 800 \text{ g/dm}^3$: le coefficient général est négatif et significatif. La station B est encore la seule qui ait donné un coefficient significatif : dans le bois à accroissement larges, la constitution des trachéides d'été à densité très élevée ($> 800 \text{ g/dm}^3$) y est moins abondante que dans le bois à accroissements plus fins ;

d) infradensité : au niveau général (463 d.d.l.), nous n'avons pas trouvé de corrélation significative, mais elle est prononcée dans les stations B et C avec des coefficients très significatifs au seuil de 1 % mais de signes contraires.

...

Station	Infra- densité	Humidité	Densité max.	Densité min.	% densité > 500 g/dm ³	% densité > 650 g/dm ³	% densité > 800 g/dm ³	% hétéro- généité (D. max.)
A		*** - 0,322	-	-	-	-	-	*** - 0,494
B	*** - 0,334	*** 0,327	*** - 0,542	*** - 0,351			*** - 0,528	*** - 0,301
C	*** + 0,263	* - 0,204				** 0,242		*** - 0,366
D		-						*** - 0,430
G	-	-	-	*** - 0,253	-	-	** - 0,238	*** - 0,402

Tableau n° 29

Valeurs des coefficients de corrélation entre la largeur des cernes et d'autres variables

Dans cette corrélation, nous observons que les corrélations présentées par les stations sont tantôt positives (A et C), tantôt négatives (B et D) ; on peut attribuer ce phénomène au sens des corrélations qui est influencé, chez *Pinus brutia*, par les caractères écologiques particuliers des stations. Donc, dans ce cas, on peut supposer que la liaison positive entre la largeur des cernes et l'infradensité, dans les stations A et C (stations sur les péri-dotites et les gabbros à basse altitude), et la liaison négative présentée par les stations B et D (stations sur les mêmes roches mais à haute altitude) serait due à l'altitude. Par ailleurs POLGE (1966) a montré que la différence que l'on a observé d'un arbre à l'autre, la même année, traduisent une réponse de chaque individu à son environnement. Ce résultat de corrélation est le plus important du point de vue sylvicole puisqu'il permet au sylviculteur de choisir les modes convenables de traitement, tels que l'éclaircie, afin d'obtenir une densité assez élevée et une qualité meilleure, car il sera vraisemblablement de plus en plus tenu compte par l'industrie de la densité propre des produits achetés (POLGE - 1963).

Certains caractères sont liés avec la largeur des cernes, mais uniquement au niveau des stations :

a) l'humidité (H.) mesurée sur les éprouvettes séchées à l'air : les stations A, B et C ont donné des coefficients significatifs, mais négatifs dans A et C et positif dans B (négatif mais non significatif dans D). Ceci correspond à l'inverse des corrélations observées avec l'infradensité. On peut

expliquer ce phénomène intéressant comme suit :

- quand la largeur des cernes est grande dans les stations A et C, les trachéides ont des parois cellulaires relativement épaisses et un volume des cavités cellulaires, dans lesquelles l'eau se localise, réduit ; par contre, dans les stations B et D, des accroissements larges donnent des densités réduites, les trachéides ont des parois minces mais des cavités cellulaires assez grandes, l'eau peut s'y localiser en plus grande masse que dans le premier cas ;

b) la moyenne des densités maximales annuelles : la station B a donné un coefficient de corrélation négative très significatif au seuil de 1 %. Un accroissement annuel large fournit un bois final moins dense que celui qui est donné par un accroissement fin. Nous avons tracé les droites de régression, dans la figure n° 29, entre la largeur des cernes et le pourcentage d'hétérogénéité des densités maximales, pour montrer graphiquement la liaison étroite entre les deux.

...

% hétérogénéité de
densité maximale

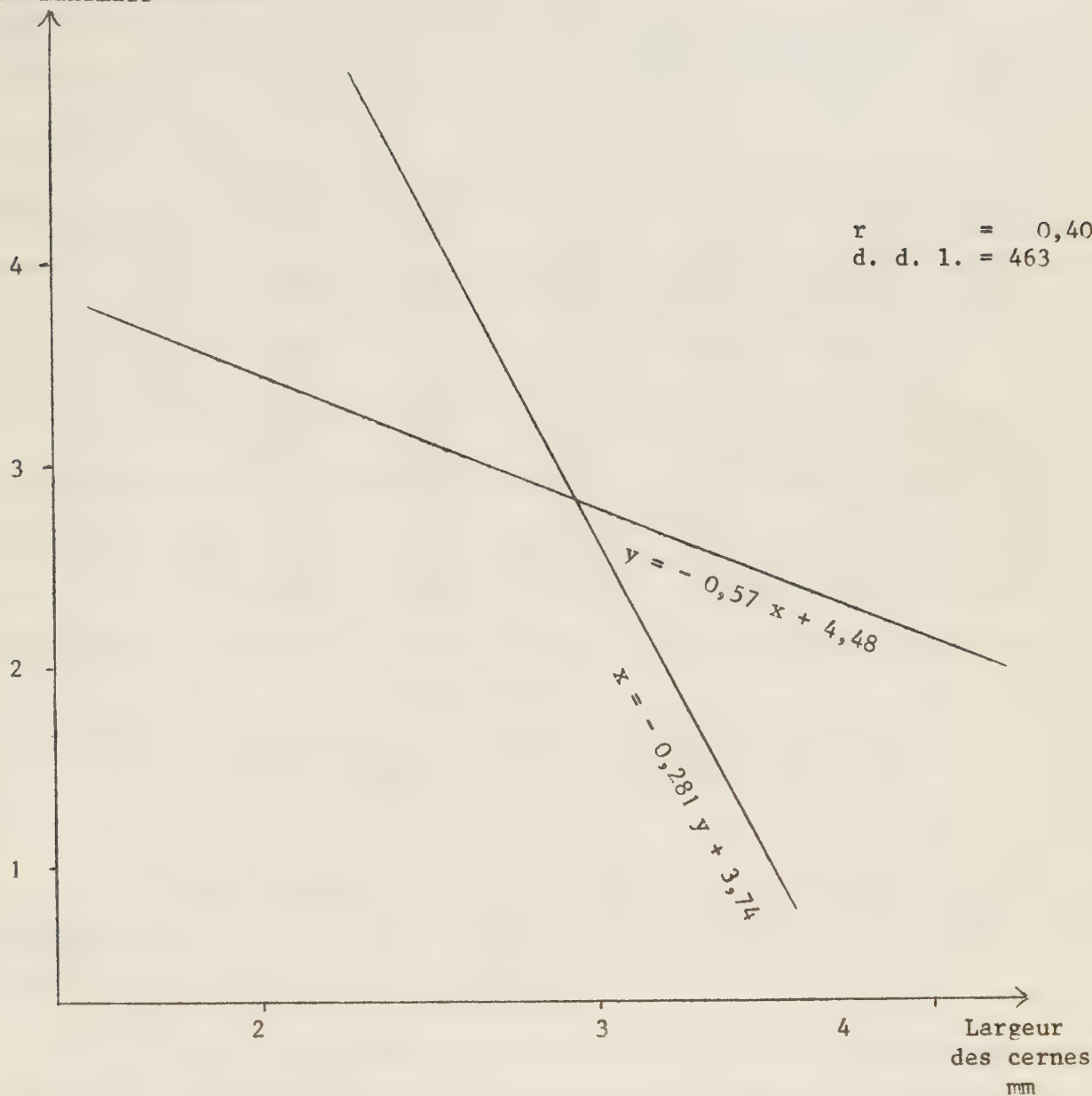


FIGURE N° 29

Droites de régression entre l'hétérogénéité de densité maximale
et la largeur des cernes

III.3.3.3 - Corrélation entre l'infradensité et d'autres caractères

Les coefficients de corrélation significatifs pour certains caractères sont regroupés dans le tableau ci-après (30), et au paragraphe III.3.1.1 nous avons présenté les liaisons entre l'infradensité (variable explicative) et les caractères physiques et mécaniques (caractères à expliquer).

Station	% Humidité	Densité max.	Densité min.	% densité > 500 g/dm3	% densité > 650 g/dm3	% densité > 800 g/dm3	% hétérogénéité
A	* 0,211	*** 0,414	*** 0,360	*** 0,435	*** 0,602	*** 0,477	*** - 0,340
B	* - 0,203	*** 0,519	*** 0,368	*** 0,447	*** 0,497	*** 0,649	
C		*** 0,564	*** 0,578	*** 0,625	*** 0,790	*** 0,631	*** - 0,421
D		*** 0,570	*** 0,445	*** 0,629	*** 0,862	*** 0,779	*** 0,236
G		*** 0,548	*** 0,503	*** 0,615	*** 0,766	*** 0,685	*** - 0,208

Tableau n° 30

Valeurs des coefficients de corrélation entre l'infradensité et d'autres caractéristiques densitométriques

Nous trouvons, ici, que l'infradensité est liée à l'humidité uniquement dans les stations A et B, avec des coefficients de corrélation significatifs au seuil de 5 %, mais de signes contraires.

Les fortes corrélations se trouvent, avec les caractères microdensitométriques, très significatives dans toutes les stations, ce qui semble logique car ces caractères sont les composantes de la densité et quand ils sont élevés dans le bois, l'infradensité l'est aussi.

Nous classons, comme il suit, les caractères avec lesquels l'infradensité est fortement liée par ordre d'importance :

- pourcentage de bois de densité > 650 g/dm3
- pourcentage de bois de densité ≥ 800 g/dm3
- pourcentage de bois de densité ≥ 500 g/dm3
- moyenne des densités maximales annuelles
- moyenne des densités minimales annuelles

Infradensité
(g/dm³)

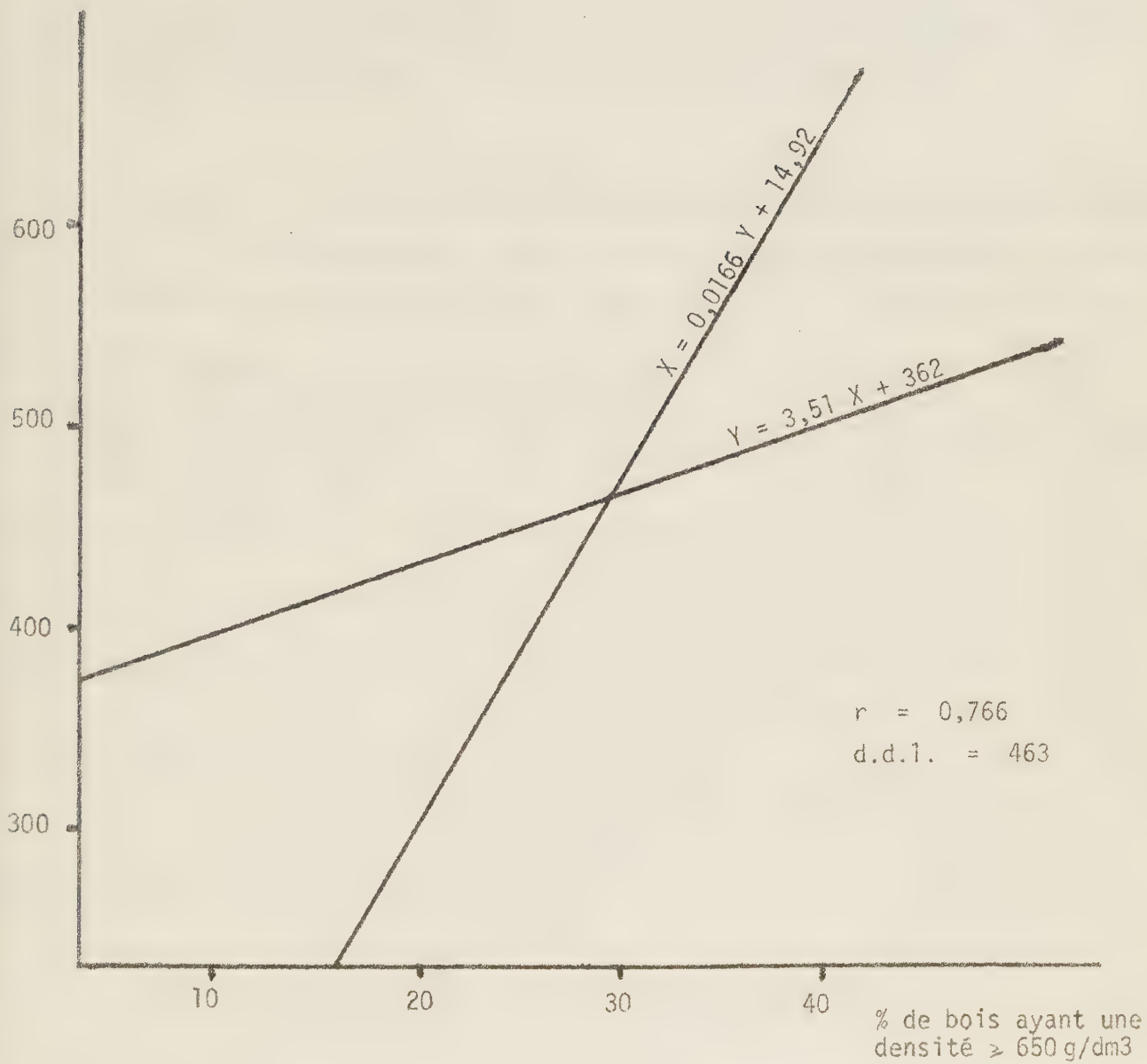


FIGURE n° 30 = DROITES DE REGRESSION ENTRE L'INFRADENSITE ET LE POURCENTAGE DE BOIS AYANT UNE DENSITE EGALE OU SUPERIEURE A 650 g/dm³

- pourcentage d'hétérogénéité de la densité maximale dont la liaison négative indique qu'une augmentation de l'infradensité est liée à une diminution sensible de l'hétérogénéité dans les densités maximales du bois.

Nous avons tracé les droites de régression correspondant à la corrélation entre l'infradensité et le pourcentage de bois de densité > 650 g/dm³, pour montrer graphiquement leur liaison étroite (figure n° 30).

III.3.3.4 - Corrélations entre le rendement en fibres et divers caractères

Dans le tableau (31), les coefficients de corrélation significatifs sont regroupés et actuellement nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

	Largeur des cernes	retrait volu- métrique saturé sec à 15 %	retrait volu- métrique saturé anhydre	retrait tangen- tiel saturé sec à 15 %	retrait tangen- tiel saturé anhydre	% résine	densité max. -- densité min.	âge	excen- tricité
A									* - 0,794
B									
C						** - 0,847			
D							* 0,756		
E	* 0,376	* 0,428	* 0,373	*** 0,482	** 0,445			* -0,379	

Tableau n° 31

Valeurs des coefficients de corrélation significatifs entre le rendement en fibres et d'autres caractères

* significatif au seuil de 5 %
** " " 2 %
*** " " 1 %

Au niveau des stations, nous n'avons trouvé que quelques corrélations dispersées, telle que celle qui existe avec l'excentricité dans la station A, dont le coefficient négatif est significatif au seuil de 5 %, ce qui indique qu'un faible rendement existe dans le bois anisotrope (présentant beaucoup de

bois de compression) car il contient beaucoup de lignine et de résine qui seront éliminées au cours de la cuisson papetière, ce qui a pour effet de réduire le pourcentage propre du poids des fibres.

Dans la station C, nous avons également trouvé une corrélation avec le pourcentage de résine : le coefficient est négatif et significatif au seuil de 2 % et ceci est analogue à ce que nous avons trouvé en A.

Dans la station D, nous n'avons trouvé qu'une seule corrélation (0,756) significative au seuil de 5 % entre le rendement en fibres et l'écart entre la moyenne des densités maximales annuelles et la moyenne des densités minimales annuelles.

Au niveau général, nous avons trouvé six corrélations significatives, entre le rendement en fibres et d'autres caractères, qui se classent comme suit :

- 1°) retrait tangentiel entre les états saturé et sec à l'air
- 2°) retrait tangentiel entre les états saturé et anhydre
- 3°) retrait volumétrique entre les états saturé et sec à l'air
- 4°) âge des arbres - le rendement, lui, est lié négativement (- 0,379)
- 5°) retrait volumétrique entre les états saturé et anhydre
- 6°) largeur moyenne des cernes.

Ces résultats permettent de faire deux observations qui ont de l'intérêt dans les domaines de la sylviculture et de l'économie :

tout d'abord, les arbres ayant des accroissements larges sont les plus favorables pour la production de la cellulose,

ensuite, ce rendement va en diminuant avec l'âge des arbres.

Pour obtenir l'optimum de rentabilité en cellulose, il est donc utile d'aménager la forêt en tenant compte de ces deux considérations en établissant une rotation des coupes conduisant à des accroissements annuels larges et sans conduire les arbres à un âge trop avancé.

Dans la figure n° 31, nous avons tracé les droites de régression entre le rendement en fibres et le retrait tangentiel de l'état saturé à l'état sec à l'air.

% rendement en fibres

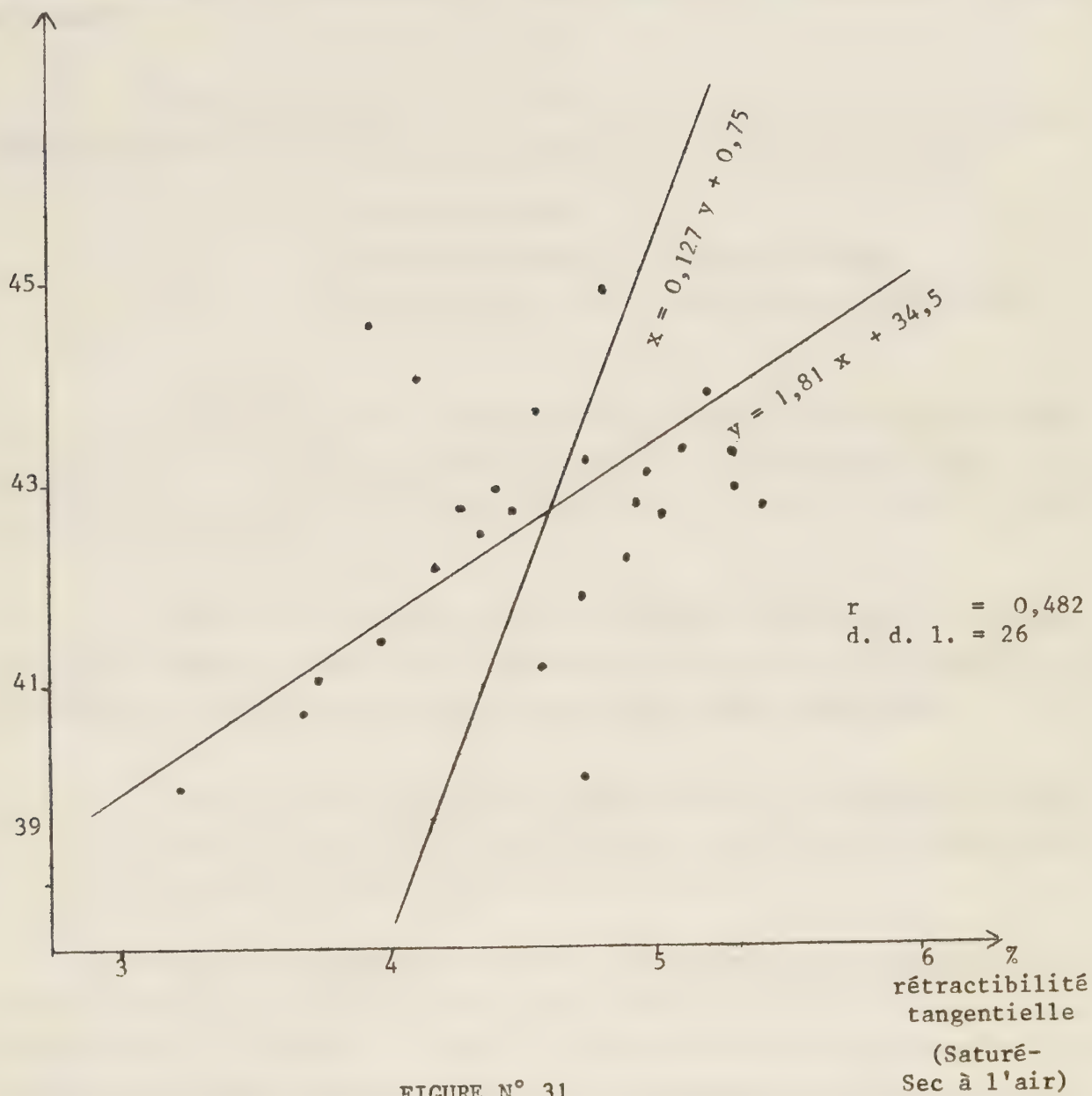


FIGURE N° 31

Droites de régression entre le rendement en fibres et le retrait tangential de l'état saturé à l'état sec à l'air à 15 % d'humidité

III.3.3.5 - Corrélation entre le pourcentage de résine et divers caractères

L'étude des corrélations entre le pourcentage de résine et les autres caractères est faite sur les moyennes des arbres : nous avons donc 28 couples au niveau général de la population de *Pinus brutia*, ce qui correspond à 26 degrés de liberté.

Nous avons trouvé (tableau 32) trois coefficients de corrélation significatifs entre le pourcentage de résine et les caractères suivants :

- a) compression axiale
- b) module d'élasticité en flexion statique
- c) retrait radial entre l'état saturé et l'état sec à l'air.

Ces résultats nous indiquent que la résine présente une influence négative sur ces caractères, une teneur en résine assez importante dans le bois coïncidant avec une diminution de la résistance à la charge en compression axiale et du module d'élasticité.

C'est un inconvénient pour l'utilisation du bois dans la construction. Cette teneur en résine et le retrait radial varient en sens contraires, ce qui donne à ce bois un avantage pour l'utilisation dans la menuiserie.

Dans la figure n° (32), nous avons présenté les droites de régression correspondant à la corrélation la plus élevée trouvée entre le pourcentage de résine et la charge de rupture en compression axiale.

Nous avons également trouvé des corrélations significatives au niveau de la station, c'est-à-dire entre sept couples (5 d.d.l.) de valeurs, mais uniquement dans les stations A et B qui représentent les deux altitudes de 200 m et 550 m sur la même roche-mère (gabbros) : le pourcentage de résine est en corrélation.:

- dans A, avec le pourcentage d'humidité restant dans les éprouvettes après le séchage à l'air, la hauteur du prélèvement et l'excentricité ;

- dans B, avec le retrait radial entre les états saturé et sec à l'air, le retrait radial entre les états saturé et anhydre, la charge de la rupture en compression axiale, le module d'élasticité en flexion statique et le diamètre des arbres.

Charge de rupture à la
compression axiale
(kg/cm²)

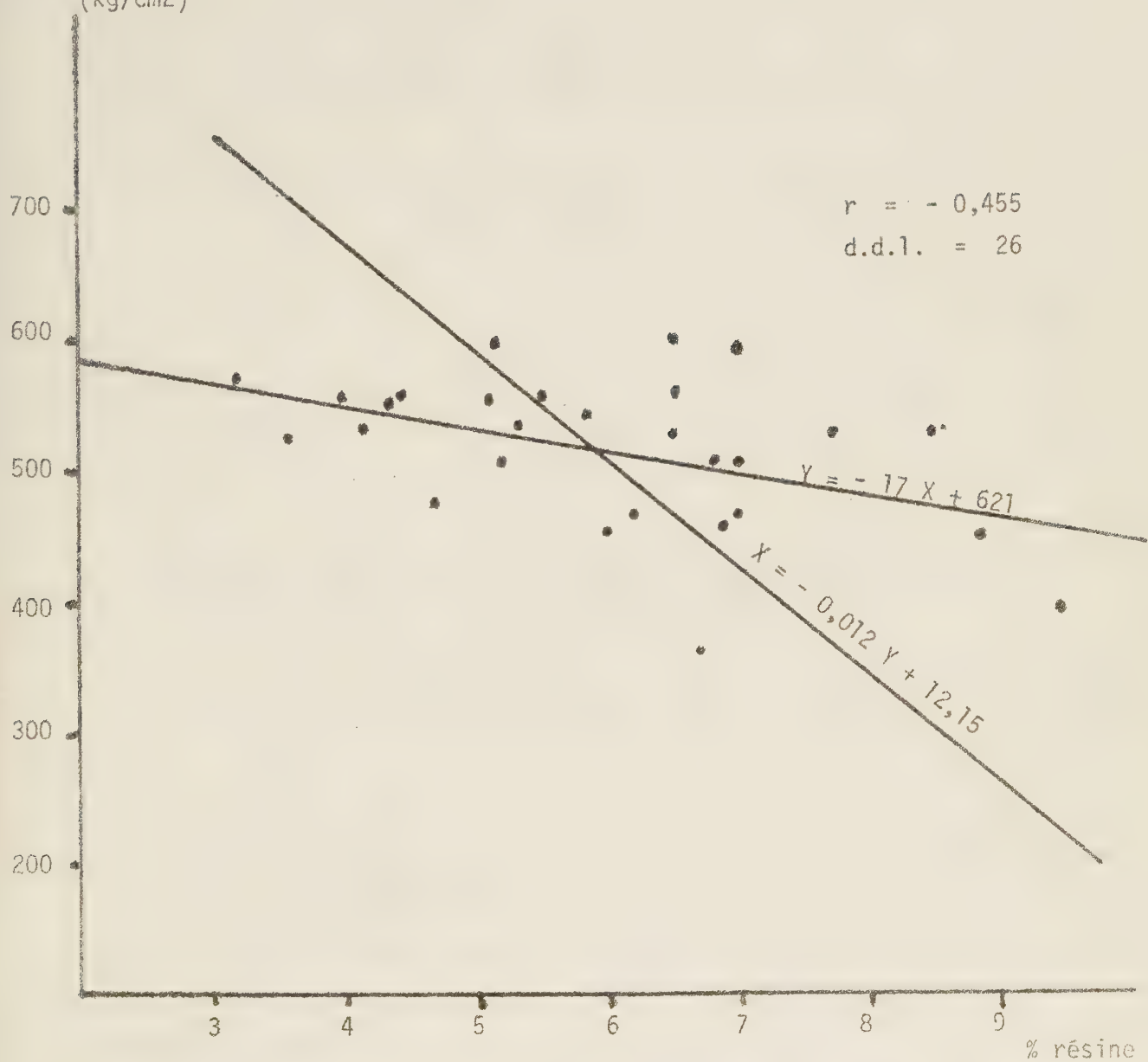


FIGURE n° 32 = DROITES DE REGRESSION ENTRE LA CHARGE DE RUPTURE A LA COMPRESSION AXIALE ET LE POURCENTAGE DE RESINE.

Nous remarquons ainsi que, sur les gabbros, la fréquence des corrélations significatives entre la résine et d'autres caractères (même avec cinq degrés de liberté) est plus élevée que sur les péridotites, ce qui semble indiquer que les facteurs écologiques n'influent pas seulement sur les variations des caractères mais encore sur la présence ou l'absence de corrélations.

	% d'humidité restante	retrait radial (saturé sec 15 %)	retrait radial (saturé anhydre)	P compres- sion axiale	E flexion statique	diamètre des arbres	hauteur du prélè- vement	excentri- cité
	*						***	*
A	- 0,807						0,915	0,822
B		*	**	*	*	*		
		- 0,779	- 0,831	- 0,780	- 0,743	0,793		
C	-	-	-	-	-	-	-	
D	-	-	-	-	-	-	-	
G		- 0,395		**	*			
				- 0,455	- 0,422			

Tableau n° 32

Valeurs des coefficients de corrélation significatifs entre le pourcentage de résine et d'autres caractéristiques

P = charge de rupture	*	significatif au seuil de 5 %
E = module d'élasticité	**	" " 2 %
	***	" " 1 %

III.3.3.6 - Corrélation entre l'âge des arbres (x 1) et divers autres caractères

Les coefficients de corrélation significatifs sont regroupés dans le tableau ci-après par stations et pour la population générale (toutes les stations ensemble). Dans l'annexe n° (I), le tableau (4) présente l'équivalence entre tous les caractères et les indices de (x 1 à x 47).

Les caractères donnant des corrélations significatives avec l'âge des arbres sont les suivants :

...

	x 8	x 21	x 27	x 32	x 24	x 19	x 9	x 36	x 37	x 38	x 16	x 18	x 40	x 41	x 42	x 44	N° de
Popu- la- tion	largeur des cernes (1)---	largeur des cernes (2)---	retrait radial (sec 15 anhydre) *---	retrait radial (saturé sec 15) -----	retrait volumé- trique (sec 15 anhydre) ***---	% fibre -----	Densité max. (1)---	Densité min. (2)---	% densité > 500 g/dm3 (2)---	% densité > 650 g/dm3 (2)---	% densité > 800 g/dm3 (1)---	Densité max. Densité min. -----	% Hétéro- généité -----	P. μ. -----	P. com- pres- sion stati- que ** -----		
A		- 0,787	0,756		0,833										0,847	7	
B	*** - 0,918		*** 0,928														7
C								** 0,869	** 0,836	* 0,769							7
D		** - 0,862					*** - 0,960				*** - 0,907	*** - 0,838					7
G	*** - 0,757	*** - 0,736	* 0,416	* - 0,389		* - 0,379		* 0,381					* 0,372	* 0,408	* 0,374		28

Tableau n° 33

Valeurs des coefficients de corrélation significatifs trouvés
entre l'âge des arbres et les caractères étudiés

a) caractères physiques

- largeur moyenne des cernes mesurée sur les carottes de sondage (x 8),
- largeur moyenne des cernes mesurée sur les échantillons parallélépipédiques (x 21),
- retrait radial entre l'état sec à l'air (15 % d'humidité) et l'état anhydre (x 27),
- retrait tangentiel entre l'état saturé et l'état sec à l'air (x 32).

Le retrait volumétrique (x 24) entre l'état sec à l'air et l'état anhydre est corrélé avec l'âge uniquement dans la station A.

Nous avons choisi la largeur des cernes comme le caractère ayant donné le coefficient le plus élevé pour tracer les droites de régression dans la figure n° (33).

b) caractères mécaniques

- charge de rupture en flexion statique (x 41) mais aucune station n'a donné de valeurs significatives (car peut-être le nombre de couples n'est pas suffisant,
- charge de rupture en compression axiale. Les stations n'ont pas donné de coefficients de corrélation significatif.

Nous avons trouvé une corrélation significative entre le module d'élasticité en flexion statique et l'âge des arbres mais seulement dans la station A.

c) caractères microdensitométriques

- moyenne des densités minimales annuelles mesurées dans les échantillons parallélépipédiques (x 36),
- pourcentage d'hétérogénéité des densités maximales annuelles (x 40).

Ces deux caractères semblent les seuls qui soient liés à l'âge de l'arbre au niveau général (28 couples) parmi les caractères microdensitométriques. Or, au niveau des stations, nous avons trouvé des corrélations significatives entre quelques uns de ces caractères et l'âge :

largeur de
cernes (mm)

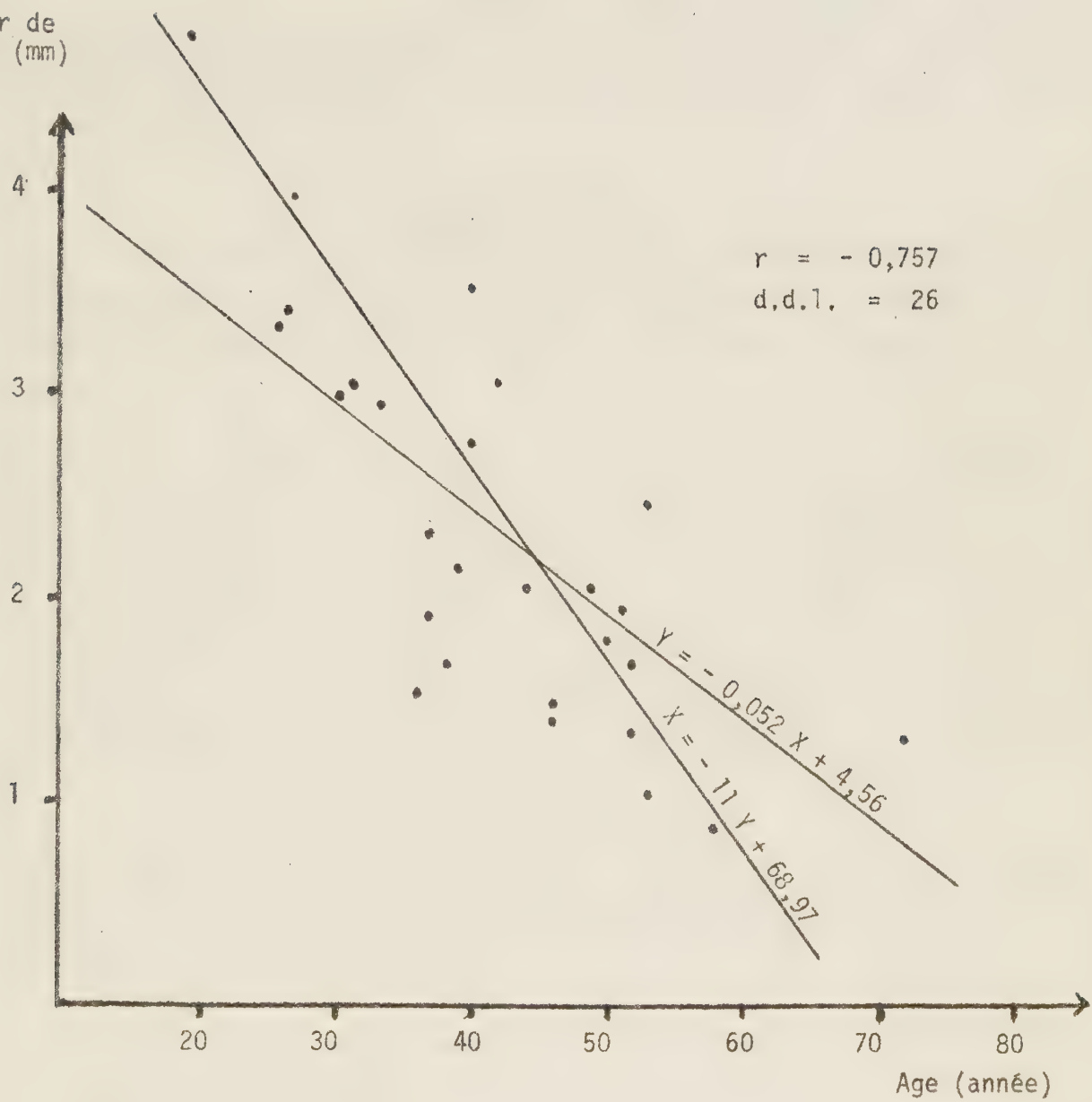


FIGURE n° 33

= DROITES DE REGRESSION ENTRE LA LARGEUR DES CERNES
MESUREE SUR CAROTTES DE SONDAGE ET L'AGE DES ARBRES

- dans C : pourcentage du bois ayant une densité $> 500 \text{ g/dm}^3$ (x 37) et $> 650 \text{ g/dm}^3$ (x 38) mesuré dans les échantillons parallélépipédiques ; les liaisons sont positives,

- dans D : pourcentage du bois ayant une densité $> 800 \text{ g/dm}^3$ (x 16), écart entre D. max et D. min. (x 18) et moyenne des densités maximales annuelles (x 9) mesurés sur les carottes de sondage. Mais les liaisons sont ici négatives.

d) rendement en fibres

Nous avons trouvé une corrélation étroite entre l'âge et le rendement en fibres avec un coefficient négatif significatif au seuil de 5 %. Aucune station n'a donné de corrélation significative entre le rendement et l'âge des arbres.

Nous observons, d'après l'ensemble des corrélations étroites trouvées entre l'âge et d'autres caractères, que l'âge des arbres agit sur plusieurs caractères importants, tels que sur la largeur des cernes, les résistances en flexion statique et en compression axiale et sur le rendement en fibres. Nous remarquons ainsi que la largeur des cernes diminue avec le vieillissement des arbres parce qu'elle est bien liée négativement à l'âge dans les deux mesures (sur les carottes de sondage et sur les échantillons parallélépipédiques).

SERRE F., LUCK H. B., PONS A., (1966)

ont trouvé, chez *Pinus halepensis* Mill de MONTPELLIER que, avec l'âge des arbres, l'épaisseur de l'accroissement annuel diminue significativement ; ils ont encore trouvé que, d'une année à l'autre, l'épaisseur diminue de 64 microns.

Mais cette diminution de la largeur moyenne des cernes accompagne en même temps une augmentation de la résistance mécanique en flexion statique et en compression axiale grâce à la texture et à la lignification des parois cellulaires qui vont en augmentant depuis le coeur vers l'écorce, ce qui présente un avantage pour les arbres âgés au point de vue de l'utilisation du bois dans la construction.

Nous avons encore trouvé que le rendement en fibres (pâte à papier) diminue avec l'avancement de l'âge par le pourcentage élevé de lignine qui sera éliminée par la solution chimique lors de la cuisson, comme nous l'avons déjà montré précédemment.

III.3.3.7 - Corrélation entre la hauteur des arbres et tous les caractères étudiés

Nous observons, dans le tableau n° 34, que la hauteur donne moins de corrélations significatives avec les caractères physiques, mécaniques, micro-densitométriques et le rendement en fibres que ne le fait l'âge des arbres.

Population	x 10 Densité min. (1)	x 36 Densité min. (2)	x 18 Densité max. - densité min.	x 22 % Humidité	x 33 Retrait tangential (sec 15 - anh.)	Nombre de couples
A	-	-	-	-	-	7
B	** 0,862	* 0,765				7
C	-	-	* 0,767	-	-	7
D	-	-	-	-	-	7
G	-	-	-	* - 0,393	* - 0,429	28

Tableau n° 34

Valeurs de coefficients de corrélation significatifs trouvés entre la hauteur des arbres et tous les caractères étudiés

Les caractères qui ont donné des corrélations significatives au niveau général de population avec la hauteur sont :

a) le retrait tangential entre les états sec à l'air et l'état anhydre (R. t sec 15 - anh.) (x 33).

Pour mieux montrer la liaison qui existe entre ce retrait et la hauteur, nous avons fait les droites de régression correspondantes qui sont portées dans la figure n° 34.

b) le pourcentage d'humidité mesuré dans les éprouvettes séchées à l'air (x 22).

Au niveau de la station, c'est-à-dire avec 7 couples moyens (5 d.d.1.), certains caractères sont liés à la hauteur avec des coefficients significatifs :

- x 10, moyenne des densités minimales annuelles (D. min. 1) (x 10),

étractibilité tangentielle
ec à l'air - anhydre)

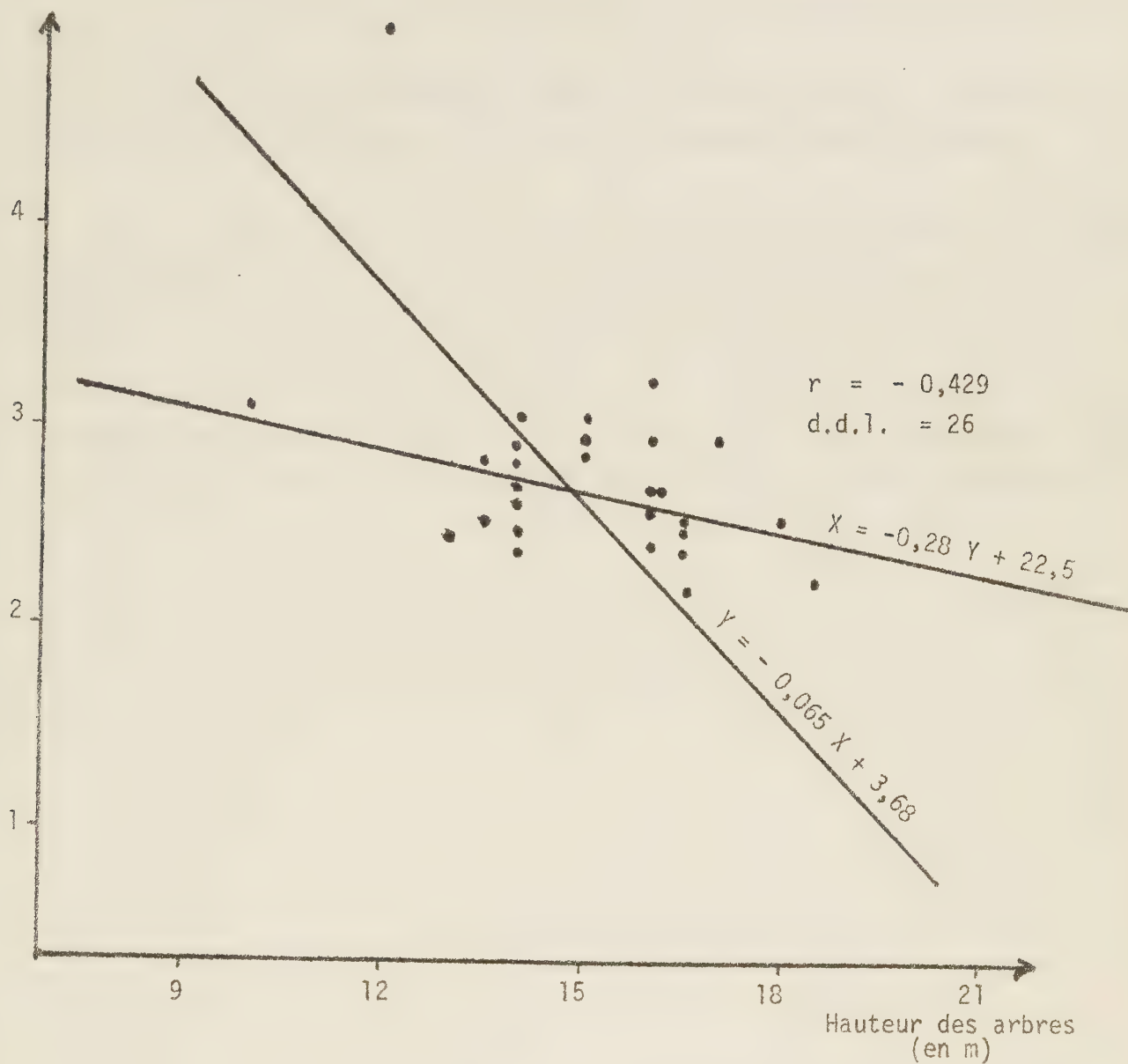


FIGURE n° 34 = DROITES DE REGRESSION ENTRE LA RETRACTIBILITE TANGENTIELLE DE L'ETAT SEC A L'AIR A L'ETAT ANHYDRE ET LA HAUTEUR DES ARBRES

- moyenne des densités minimales annuelles (D. min. 2)
(x 36)
- écart entre la (D. max.₁) et la (D. min.₁) (x 18).

Les deux premières corrélations ont été trouvées uniquement dans la station B et la dernière a été trouvée uniquement dans la station C.

Nous observons encore, dans ces résultats, que toutes les stations ne présentent pas la même modalité de corrélation, car entre les divers caractères certaines corrélations n'apparaissent que dans certaines stations et même (comme c'est le cas ici) quelquefois que dans une seule. Il est donc apparu ainsi que les arbres de chaque station ont des comportements propres. C'est une raison pour laquelle nous avons donné les résultats, dans cette présente étude, au niveau des stations et au niveau général de toutes les stations ensemble.

III.3.3.8 - Corrélation entre le diamètre des arbres et divers caractères

Nous trouvons, d'après le tableau n° 35, que ce sont les stations B et C qui sont les seules à donner des corrélations significatives entre le diamètre et quelques caractères physiques :

a) dans B : le diamètre est en corrélation avec :

- le retrait radial entre l'état saturé et l'état sec à l'air (x 26)
- le retrait volumétrique entre l'état saturé et l'état sec à l'air (x 23)
- le pourcentage de résine
- et l'excentricité

Ces résultats nous montrent que, dans la station B, une augmentation du diamètre des arbres conduit à une diminution du retrait radial et du retrait volumétrique au cours du séchage naturel de l'état vert à l'humidité d'ambiance, et à une augmentation du pourcentage en résine, encore que cette augmentation du diamètre entraîne une excentricité assez élevée donnant ainsi du bois anormalement de mauvaise qualité, comme nous allons le voir dans le prochain paragraphe.

b) dans C : le diamètre est en corrélation avec :

- la largeur moyenne des cernes (x 8)
- l'écart entre les moyennes de densité maximale et la densité minimale annuelles (x 18)
- et la hauteur des arbres (x 2).

Nous observons donc que l'accroissement des arbres est régulier dans la station C où la liaison trouvée entre le diamètre et la hauteur est linéaire et entraîne une augmentation de la largeur moyenne des cernes. Ceci est un point important dans le traitement sylvicole de la forêt de *Pinus brutia* de la région étudiée.

Au niveau général, l'excentricité est le seul caractère qui donne des corrélations significatives avec le diamètre mais elle présente un inconvénient pour la qualité du bois chez les gros arbres où une excentricité très élevée, sur un côté de l'arbre, annonce une anisotropie (bois de compression).

Stations	x 8 Largeur des cernes (1)	x 26 Retrait radial (sat. - sec 15)	x 23 Retrait volumé- trique (sat. - sec 15)	x 18 Densité max. - densité min. (1)	x 17 % de résine	x 2 Hauteur	x 7 Excen- tricité
B	-	* - 0,756	* - 0,802	-	* 0,793	-	* 0,784
C	** 0,860	-	-	* 0,752	-	*** 0,927	-
G	-	-	-	-	-	-	*** 0,544

Tableau n° 35

Valeurs des coefficients de corrélation significatifs
entre le diamètre des arbres et divers caractères

Dans la figure n° 35, nous avons présenté les droites de régression correspondantes pour bien montrer la liaison étroite qui existe entre les deux caractères.

Excentricité
(en mm)

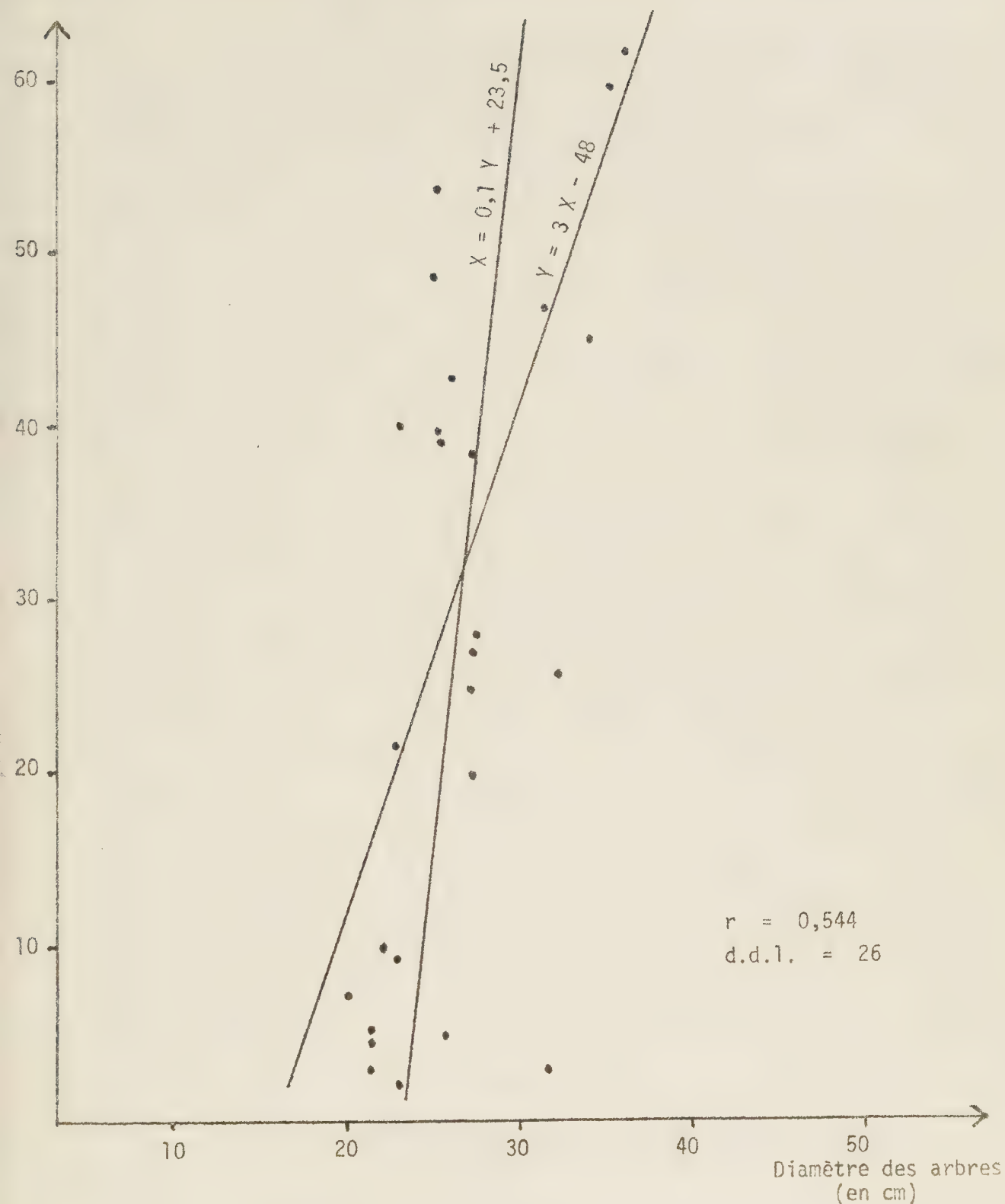


FIGURE n° 35 = DROITES DE REGRESSION ENTRE L'EXCENTRICITE ET LE DIAMETRE DES ARBRES

III.3.3.9 - Corrélation entre les pentes de terrain (x 4) et divers caractères

Les coefficients de corrélations significatifs sont regroupés dans le tableau n° 36 ci-après, dans lequel nous trouvons que la présence de pente n'influe que sur certains caractères physiques et les stations A et C sont les seules qui aient donné des corrélations significatives.

	A	B	G
Largeur des cernes (x 8) (1)			** 0,451
Largeur des cernes (x 21) (2)			* 0,426
% D'humidité (x 22)			** 0,438
Retrait radial (x 26) (sat. - sec 15)		** 0,861	
Retrait radial (x 27) (sec 15 - anh.)	* 0,782		
Retrait radial (x 28) (sat. - anh.)	* 0,783		
Retrait axial (x 29) (sat. - sec 15)			** - 0,433
Retrait volumétrique (x 24) (sec 15 - anh.)	* 0,759		
Densité minimale (x 36)			* - 0,372
Degré de liberté	5	5	26

Tableau n° 36

Valeurs des coefficients de corrélations entre les pentes de terrains et divers caractères

La station A a donné trois corrélations significatives entre la pente et :

- le retrait radial (entre l'état sec à l'air et l'état anhydre) (x 27)

- le retrait radial (entre l'état saturé et l'état anhydre) (x 28)
- et le retrait volumétrique (entre l'état sec à l'air et l'état anhydre) (x 24).

Nous trouvons donc, d'après ces résultats, que l'influence de la pente dans la station A est plus prononcée sur les retraits que sur d'autres caractères ; une pente assez forte du terrain où l'arbre croît entraîne une anisotropie dans le bois dans les trois cas de retraits présentés.

La station C a donné une seule corrélation significative avec le retrait radial (entre l'état saturé et l'état sec à l'air) ; donc une forte pente augmente le retrait radial dans le bois après le séchage naturel.

Au niveau général (G), nous trouvons beaucoup plus de caractères en corrélations significatives :

- largeur moyenne des cernes (x 8) mesurée sur les carottes de sondage où les droites de régression qui ont été faites avaient montré graphiquement l'intensité de cette liaison (figure n° 36).
- pourcentage d'humidité dans les éprouvettes après séchage naturel (x 22)
- retrait axial (entre l'état saturé et l'état sec à l'air) (x 29)
- moyenne des densités minimales annuelles mesurée sur les échantillons parallélépipédiques (x 36).

Nous trouvons donc que la présence d'une forte pente du terrain entraîne, d'une part, une augmentation de la largeur des cernes et, d'autre part, une diminution du retrait axial. Ceci est contraire à la théorie qui dit qu'une forte pente conduit quelquefois à la présence de bois de compression dans lequel les cernes sont larges mais où le retrait axial est très élevé.

Normalement, la pente agit sur l'équilibre de l'alimentation des racines et même au point de vue de la répartition de l'eau dans le tronc.

Largeur de cernes
(en mm)

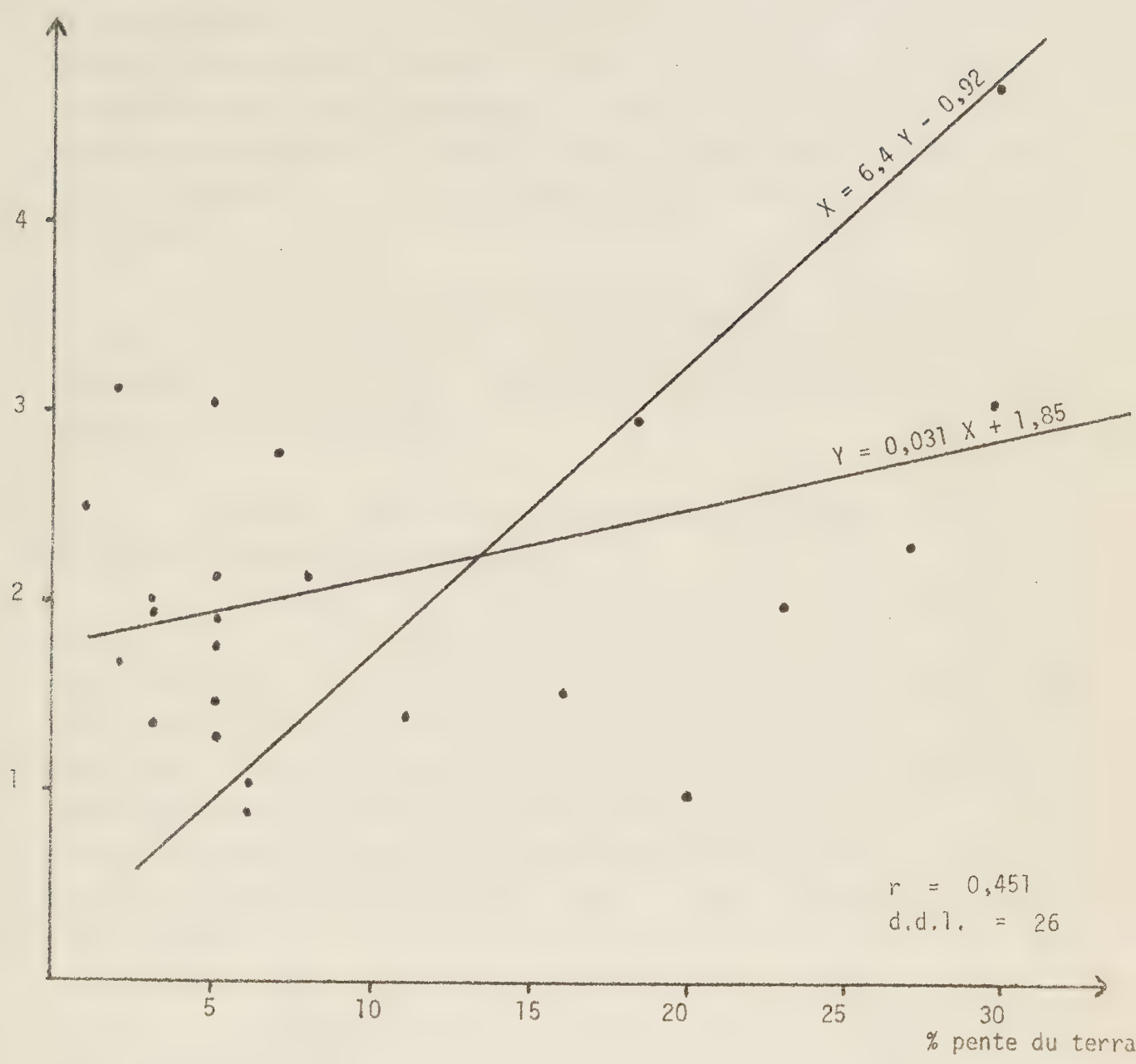


FIGURE n° 36 = DROITES DE REGRESSION ENTRE LA LARGEUR DES CERNES
MESUREE SUR CAROTTES DE SONDAGE ET LA PENTE DU TERRAIN

IABLOKOFF (1963) a montré que la pente jouait un rôle important au point de vue de l'hygrométrie du sol : une pente forte provoquant le ruissellement de l'eau et l'empêchant, par conséquent, de pénétrer dans les couches du terrain dans lesquelles plongent les racines des arbres ; elle agit encore directement sur l'éclairement des arbres. Tous ces divers déséquilibres entraînent généralement la formation d'arbre à coeur excentré, très préjudiciable à l'homogénéité du bois, ce qui donne un bois anormal tel que le bois de compression.

Mais dans notre résultat sur *Pinus brutia* de la région étudiée, nous trouvons que la pente forte n'augmente ni l'excentricité, ni le retrait axial dans le bois, donc elle n'est plus responsable de la formation de bois anisotrope (bois de compression).

En outre, pour l'ensemble des résultats, nous faisons les deux observations supplémentaires suivantes :

1°) les stations A et C ont donné des corrélations entre la pente et des caractères différents ; c'est-à-dire que les liaisons entre la pente du terrain et les caractères du bois sont combinées avec les conditions écologiques des stations. L'influence de la pente sur un caractère quelconque varie donc d'un endroit à un autre. D'autre part, l'absence des corrélations significatives, dans les stations B et D, indique que, dans l'altitude relativement supérieure, la pente n'influe absolument pas sur les caractères de la qualité du bois de *Pinus brutia*, ceci grâce à l'approvisionnement assez élevé d'eau de pluie ;

2°) les caractères donnant des corrélations significatives avec la pente au niveau général n'ont rien donné à l'intérieur des stations ; c'est-à-dire que les liaisons entre la pente et ces caractères ne dépendent pas uniquement de l'essence car si la liaison dépendait uniquement de l'essence, celle-ci pourrait être trouvée dans tous les niveaux de population.

III.3.3.10 - Corrélation entre la hauteur du prélèvement des échantillons et divers caractères

Nous étudions, ici, les variations de divers caractères qui vont de pair avec la hauteur du prélèvement des échantillons en faisant les corrélations nécessaires, ceux-ci donnant des renseignements utiles sur l'homogénéité des résultats et sur l'utilisation du bois le long du tronc, même si les hauteurs de prélèvement se sont seulement limitées entre 50 cm et 220 cm du sol.

Les caractères qui suivent sont en liaison significative avec la hauteur du prélèvement, au niveau des stations ou au niveau de la population générale de toutes les stations réunies (tableau n° 37).

	A	B	C	D	G
Largeur des cernes (x 8)			** 0,848		
Infradensité (x 20)				* - 0,794	* - 0,375
Humidité (x 22)	* - 0,813				
% Bois de densité > 500 (2) (x 37)					* - 0,421
% Bois de densité > 650 (2) (x 38)					* - 0,421
% Bois de densité > 800 (1) (x 14)		*** 0,883			
P. compression axiale (x 42)	* - 0,783				
P. compression de flanc (x 43)				* - 0,803	*** - 0,514
Retrait axial (sec 15 - anh.) (x 30)					* - 0,424
Flèche de rupture en fl. st. (x 46)		** - 0,863			* - 0,419
% de résine (x 17)	*** 0,915				
Excentricité (x 7)	* 0,792				

Tableau n° 37

Valeurs des coefficients de corrélation
entre la hauteur du prélèvement et divers caractères

...

Dans la station A :

- pourcentage d'humidité dans les échantillons séchés à l'air (x 22), ce qui est surprenant car, en général, la densité du bois diminue avec la hauteur
- charge de rupture en compression axiale (x 42)
- pourcentage de résine (x 17)
- excentricité.

Dans cette station, la résistance en compression axiale et l'humidité restant dans le bois diminuent avec la hauteur du prélèvement, mais, par contre, l'excentricité et le pourcentage de résine augmentent.

Dans la station B :

- pourcentage de bois ayant une densité $> 800 \text{ g/dm}^3$ mesuré dans les carottes de sondage (x 14)
- flèche correspondant à la rupture en flexion statique.

Dans la station C :

- C'est uniquement la largeur moyenne des cernes, mesurée sur les carottes de sondage, qui se modifie en fonction de la hauteur du prélèvement et elle s'élargit au fur et à mesure que l'on monte.

Dans la station D :

- infradensité mesurée sur les échantillons parallélépipédiques (x 20)
- charge maximum atteinte en compression de flanc (x 43).

En population générale (G) :

- infradensité
- pourcentage du bois ayant une densité $> 500 \text{ g/dm}^3$
- pourcentage du bois ayant une densité $> 650 \text{ g/dm}^3$

- charge maximum de rupture atteinte en compression de flanc (x 43) dont les droites de régression ont été faites pour montrer l'existence étroite de cette corrélation entre la hauteur du prélèvement et la charge maximale en compression de flanc (Fig. 37).

- retrait axial entre l'état sec à l'air et l'état anhydre (x 30)

- flèche correspondant à la rupture en flexion statique (x 46).

D'après ces résultats, nous observons que l'action de la hauteur du prélèvement est négative sur tous les caractères qui présentent des corrélations significatives. L'infradensité et ses composantes diminuent tant que les prélèvements sont faits dans la partie supérieure du tronc de l'arbre ; c'est-à-dire que, dans la partie supérieure du tronc, la densité est moindre que dans la partie inférieure ; la résistance en compression de flanc et la flèche de rupture en flexion statique évoluent de même.

POLGE H et ILLY G. (1968) ont montré que, pour le Pin maritime, la densité varie considérablement suivant la hauteur du prélèvement. Pour 20 arbres de la forêt de l'Hermitage, la densité moyenne s'abaisse progressivement de 467 g/dm³, à 1,30 m, à 392 g/dm³ à 17, 30 m sur le côté est et de 448 à 360 sur le côté ouest.

Nous trouvons encore que le retrait axial diminue avec la hauteur du prélèvement, ce qui indique l'existence d'un bois normal ou homogène dans la partie supérieure plus que dans la partie inférieure du tronc de l'arbre.

...

Charge maximale à la
compression de flanc
(kg/cm²)

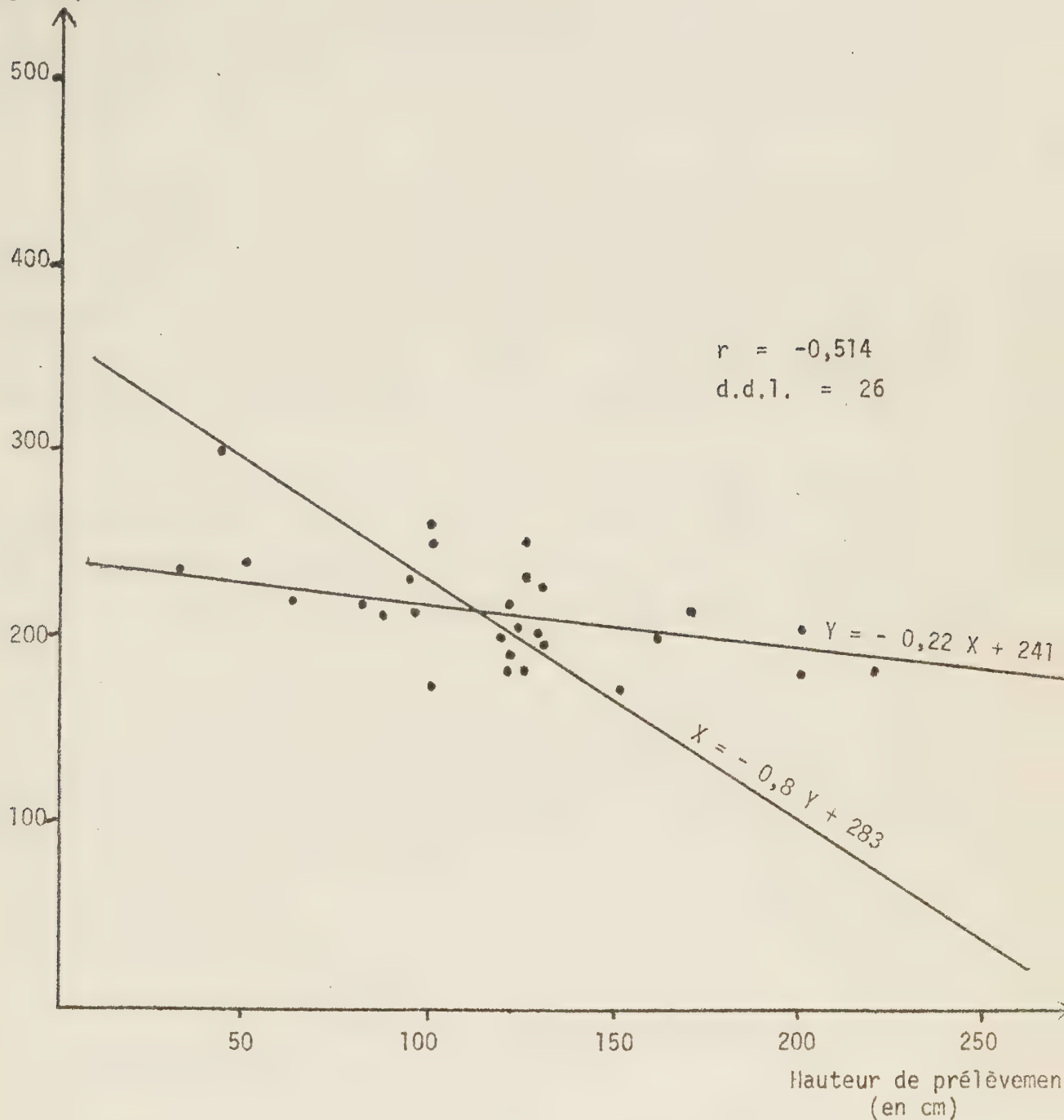


FIGURE n° 37 = DROITES DE REGRESSION ENTRE LA CHARGE MAXIMALE A LA COMPRESSION DE FLANC ET LA HAUTEUR DE PRELEVEMENT.

III.3.3.11 - Corrélation entre l'excentricité du bois et divers caractères

L'excentricité est un aspect morphologique du bois qui peut être une indication du bois de compression sur le côté du grand rayon, comme dans le bois du Pin maritime des Landes qui est caractérisé par une anisotropie d'est en ouest. Le rayon du côté est y est plus grand et le bois est formé d'accroissements plus larges et a une plus forte densité ; on l'appelle "bois de compression".

Nous avons donc rendu compte des liaisons existantes entre l'excentricité et divers caractères afin de connaître les caractères, les propriétés physiques - mécaniques - microdensitométriques et le rendement en fibres du bois de compression de *Pinus brutia*, ce qui nous donne des renseignements assez importants en ce qui concerne le traitement sylvicole, les propriétés technologiques et l'utilisation de *Pinus brutia* dans la région étudiée.

Mais il faut noter que les liaisons trouvées ici entre l'excentricité et divers caractères ne représentent pas seulement les propres liaisons entre le bois de compression seul, mais elles rendent compte de la qualité du bois des arbres qui sont formés d'un bois de compression prononcé dans une partie seulement.

Dans le tableau n° 38, où les coefficients de corrélation significatifs sont regroupés, nous remarquons qu'il y a beaucoup de corrélation entre l'excentricité et les caractères physiques, mécaniques, microdensitométriques et le rendement en fibres, surtout dans la station B.

Dans la station A, les caractères liés à l'excentricité sont :

- le pourcentage en résine (x 17)
- et le pourcentage du rendement en fibres (x 19) ; celui-ci est significatif au seuil de 5 %.

Comme cela a déjà été trouvé dans le paragraphe précédent, il faut noter une corrélation significative entre la hauteur du prélèvement et l'excentricité.

Nous trouvons donc que l'excentricité augmente la teneur en résine, d'une part, et diminue le rendement en fibres, d'autre part ; ce qui indique que, dans le bois de compression, le rendement est faible, observation faite par JANIN (1972_b), JANIN et RAHME (1972).

Valeurs des coefficients de corrélations entre l'excentricité et divers caractères

	A	B	C	D	G
densité minimale (1) (x 10)		* - 0,762			
infradensité (1) (x 11)		* - 0,811			
de bois ayant une densité > 500 (1) (x 12)		*** - 0,884			
de résine (x 17)	* 0,822				
de rendement en fibres (x 19)	* - 0,794				
retrait volumétrique (sat. - sec 15) (x 23)		** - 0,855			
retrait volumétrique (sat. - anh.) (x 25)		** - 0,843			* - 0,362
retrait radial (sat. - sec 15) (x 26)		* - 0,781			
retrait axial (sat. - sec 15) (x 29)					* 0,398
retrait axial (sec 15 - anh.) (x 30)				* 0,787	* 0,411
retrait axial (sat. - anh.) (x 31)		* 0,768		* 0,752	*** 0,537
retrait tangentiel (sat. - sec 15) (x 32)		** - 0,865			** - 0,464
retrait tangentiel (sec 15 - anh.) (x 33)			* - 0,803		*** - 0,514
retrait tangentiel (sat. - anh.) (x 34)		** - 0,861			*** - 0,550
Charge maximum de flexion statique (x 41)		* - 0,774			
Charge maximum de compression axiale (x 42)		* - 0,766	* 0,759		
Charge maximum de compression de flanc (x 43)			** 0,837		
Module d'élasticité en flexion statique (x 44)		** - 0,831			* - 0,411
Module d'élasticité en compression axiale (x 45)			* 0,768	*** - 0,896	

sat. : : état saturé

sec 15 : état sec à l'air à 15 % d'humidité

anh. : état anhydre

(1) : mesurée dans les carottes de sondage

(2) : mesurée dans les échantillons parallé-

lénipédiques

Dans la station B, les caractères liés à l'excentricité sont :

- l'infradensité (x 11)
- la moyenne des densités minimales annuelles (x 10)
- le pourcentage de bois ayant une densité ≥ 500 g/dm³ (x 12)
- le pourcentage de bois ayant une densité ≥ 800 g/dm³ (x 16)
- les retraits volumétriques (entre les états saturé et sec à l'air (x 23) et entre les états saturé et anhydre (x 25))
- le retrait radial (entre les états saturé et sec à l'air (x 26))
- le retrait radial (entre les états saturé et anhydre (x 31))
- les retraits tangentiels (entre les états saturé et sec à l'air (x 32) et entre les états saturé et anhydre (x 34))
- la charge de rupture en flexion statique (x 41)
- la charge de rupture en compression axiale (x 42)
- et le module d'élasticité en flexion statique (x 44).

Nous en concluons que l'excentricité a beaucoup plus d'influence sur les caractères dans la station B que dans les autres stations. Les liaisons de l'excentricité d'une part négatives avec les résistances mécaniques et d'autre part positives avec le retrait axial indiquent la présence éventuelle du bois anisotrope chez les arbres à coeur excentré. La forte anisotropie trouvée dans cette station ne vient pas uniquement du bois de compression mais peut-être encore du bois juvénile pour les raisons suivantes :

La corrélation trouvée avec l'infradensité est négative, tandis que chez le bois de compression elle doit être positive.

Le retrait axial augmente mais, par contre, les retraits tangentiels et radiaux diminuent, ce qui peut être trouvé dans le bois de compression mais aussi dans le bois juvénile.

POLGE (1964a), dans son étude sur le bois juvénile des conifères (*Abies grandis*), a montré que le bois adulte a des retraits aussi bien radiaux que tangentiels très significativement supérieurs au bois juvénile.

Les arbres de cette station B sont très jeunes, leur âge varie de 20 à 31 ans (il n'y a qu'un seul arbre de 50 ans), donc il y a essentiellement un pourcentage assez important de bois juvénile.

Finalement, les variations des caractères provoquées par l'excentricité peuvent être attribuées soit au bois de compression localisé dans une partie de l'arbre, soit au bois juvénile et probablement aux deux ensemble.

Dans la station C, les caractères liés significativement à l'excentricité sont :

- le retrait tangentiel (entre l'état sec à l'air et l'état anhydre (x 33))
- la charge de rupture en compression axiale (x 42)
- la charge maximale atteinte en compression de flanc (x 43)
- et le module d'élasticité en compression axiale (x 45)

Les signes de corrélations entre l'excentricité et les caractéristiques mécaniques sont contraires à ceux de la station B.

Dans la station D, les caractères liés significativement à l'excentricité sont :

- le retrait axial (entre l'état sec à l'air et l'état anhydre (x 30))
- le retrait axial (entre l'état saturé et l'état anhydre (x 31))
- et le module d'élasticité en compression axiale (x 45).

Dans la population générale (G), les résultats sont les plus surs car le degré de liberté est plus grand (26 d. d. l.), ce qui donne à notre étude beaucoup plus de chance pour trouver des relations significatives.

Les caractères étant significativement liés à l'excentricité sont :

- le retrait volumétrique (entre l'état saturé et l'état anhydre (x 25))
- le retrait axial (entre l'état saturé et l'état sec à l'air (x 29))
- le retrait axial (entre l'état sec à l'air et l'état anhydre (x 30))
- le retrait axial (entre l'état saturé et l'état anhydre (x 31)) dont les droites de régression ont été tracées dans la figure n° 38 pour montrer la liaison étroite qui existe entre l'excentricité et le retrait axial, caractéristiques d'anisotropie du bois
- le retrait tangentiel (entre l'état saturé et l'état sec à l'air (x 32))
- le retrait tangentiel (entre l'état sec à l'air et l'état anhydre (x 33))
- le retrait tangentiel (entre l'état saturé et l'état anhydre (x 34))
- et le module d'élasticité en flexion statique (x 44).

Nous trouvons ainsi comment l'excentricité peut faire varier considérablement les caractères du bois ; elle influe surtout sur les retraits tangentiels en les diminuant, sur les retraits axiaux en les augmentant et, de plus, elle diminue le module d'élasticité en flexion statique. Cette liaison peut être une indication de l'anisotropie du bois soit par le bois de compression seul, soit par celui-ci associé^{au} bois juvénile (comme c'était particulièrement le cas dans la station B).

POLGE et ILLY (1967) ont trouvé, chez le Pin maritime des Landes, que sur le côté est des arbres (présentant des rayons plus grands que sur le côté ouest), le bois avait des caractères de bois de compression.

L'action du vent, comme c'est le cas chez cette dernière essence, ou l'influence de la pente du terrain peuvent être à l'origine de l'excentricité. Mais nous n'avons trouvé aucune liaison significative entre la pente et l'excentricité, d'une part, et les caractéristiques du bois de compression, d'autre part. Dans le bois de *Pinus brutia*, l'action du vent est probablement à l'origine de cette excentricité.

...

% rétractibilité axiale
(saturé - anhydre)

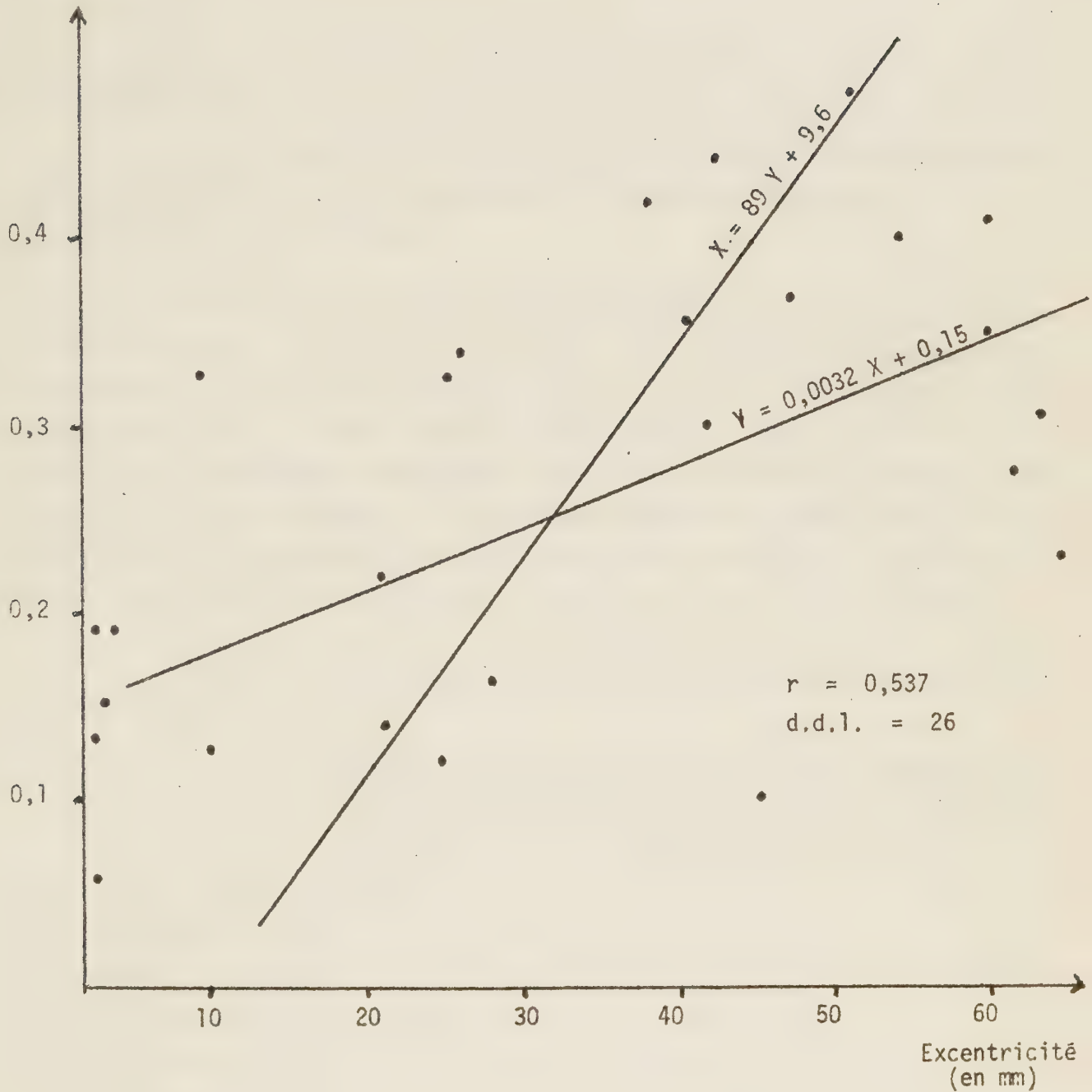


FIGURE n° 38 = DROITES DE REGRESSION ENTRE LA RETRACTIBILITE AXIALE DE L'ETAT SATURÉ A L'ETAT ANHYDRE ET L'EXCENTRICITE.

II.4 - RESULTATS ET INTERPRETATION DE L'INFLUENCE DE CERTAINS FACTEURS CONTROLES DU MILIEU SUR LA QUALITE DU BOIS AU MOYEN DE COMPARAISONS DE MOYENNES PAR L'ANALYSE DE VARIANCE

III.4.1 - DEFINITION

Les méthodes d'analyse de variance et de comparaison des moyennes ont été déjà décrites dans le paragraphe des méthodes statistiques du chapitre de la méthodologie.

Cette étude nous permet de mettre en évidence l'influence des facteurs écologiques - tels que la roche-mère (formant des sols forestiers) ou l'altitude - et celle des facteurs de position externe ou orientation (nord, sud, ouest, est), et interne (niveaux des rayons de 0 à 30, 30 à 60 et 60 à 100 %) sur les caractères mécaniques, physiques, microdensitométriques et rendement en fibres, au moyen de l'analyse de variance qui conduit, par le test F (SNEDECOR, 1956) (VESSEREAU, 1960), à connaître les facteurs les plus discriminants pour chacun des caractères de la qualité du bois de *Pinus brutia*.

Deux études d'analyse de variance et de comparaison des moyennes ont été faites :

- a) une sur les résultats des essais sur les carottes de sondage où 12 caractères ont été étudiés en fonction de trois sources de variation ; les caractères mesurés sur les 15 derniers cernes sont les suivants :

- 1 - largeur moyenne des cernes (L. C.₁)
- 2 - infradensité moyenne (I. D.)
- 3 - moyenne des densités maximales annuelles (D. max.)
- 4 - moyenne des densités minimales annuelles (D. min.)
- 5 - pourcentage du bois ayant une densité ≥ 500 g/dm³ (d. ≥ 500 - 1)
- 6 - pourcentage du bois ayant une densité ≥ 650 g/dm³ (d. ≥ 650 - 1)
- 7 - pourcentage du bois ayant une densité ≥ 800 g/dm³ (d. ≥ 800 - 1)
- 8 - cas des densités minimales ≤ 500 (cas d. ≤ 500)
- 9 - cas des densités maximales ≤ 800 (cas d. ≤ 800)
- 10 - pourcentage de résine (% résine) calculé pour tous les cernes
- 11 - écart entre densité maximale et densité minimale (D. max. - D. min.)
- 12 - rendement en fibres, calculé pour tous les cernes.

Les facteurs sont les suivants :

- 1 - quatre positions externes ou orientations (nord, sud, ouest, est)
- 2 - deux roches-mères (péridotites, gabbros)
- 3 - deux altitudes (basse et supérieure) ;

b) l'autre sur les résultats des essais physiques et mécaniques sur les éprouvettes normalisées et sur les petits échantillons parallélépipédiques, dont 28 caractères ont été étudiés en fonction de quatre facteurs ; ces caractères sont les suivants :

- 1 - infradensité (I. D.₂)
- 2 - largeur moyenne des cernes (L. C.₂)
- 3 - pourcentage d'humidité restant dans les éprouvettes après séchage à l'air (% H)
- 4 - retrait volumétrique entre les états saturé - sec à l'air (sat. - sec₁₅)
- 5 - retrait volumétrique entre les états sec à l'air - anhydre (sec₁₅ - anh.)
- 6 - retrait volumétrique entre les états saturé - anhydre (sat. anh.)
- 7 - retrait radial entre les états saturé - sec à l'air (sat. - sec₁₅)
- 8 - retrait radial entre les états sec à l'air - anhydre (sec₁₅ - anh.)
- 9 - retrait radial entre les états saturé - anhydre (sat. - anh.)
- 10 - retrait axial entre les états saturé - sec à l'air (sat. - sec₁₅)
- 11 - retrait axial entre les états sec à l'air - anhydre (sec₁₅ - anh.)
- 12 - retrait axial entre les états saturé - anhydre (sat. - anh.)
- 13 - retrait tangentiel entre les états saturé - sec à l'air (sat. - sec₁₅)
- 14 - retrait tangentiel entre les états sec à l'air - anhydre (sec₁₅ - anh.)
- 15 - retrait tangentiel entre les états saturé - anhydre (sat. - anh.)
- 16 - moyenne des densités maximales annuelles (D. max.₂)
- 17 - moyenne des densités minimales annuelles (D. min.₂)
- 18 - pourcentage du bois ayant une densité ≥ 500 g/dm³ (% d. ≥ 500)
- 19 - pourcentage du bois ayant une densité ≥ 650 g/dm³ (% d. ≥ 650)
- 20 - pourcentage du bois ayant une densité ≥ 800 g/dm³ (% d. ≥ 800)
- 21 - pourcentage de l'hétérogénéité des densités maximales annuelles (% het.)
- 22 - charge maximale de rupture en flexion statique (P. fl. st.)
- 23 - charge maximale de rupture en compression axiale (P. c. ax.)
- 24 - charge maximale exercée en compression de flanc (dureté) (P. c. flc.)
- 25 - module d'élasticité en flexion statique
- 26 - module d'élasticité en compression axiale
- 27 - flèche correspondant à la rupture en flexion statique (fl. fl. st.)
- 28 - écart entre densité maximale et densité minimale (caractère microdensitométrique) (D. max. - D. min.).

Les facteurs sont les suivants :

- 1 - positions internes des échantillons par rapport au coeur des arbres (rayon)
où il y a trois niveaux de rayons :
 - I 0 - 30 bois de coeur
 - II 30 - 70 bois entre coeur et écorce
 - III 70 - 100 bois proche de l'écorce
- 2 - roches-mères (péridotites - gabbros)
- 3 - altitudes (basse : 200-250 m, supérieure : 550-600 m)
- 4 - stations (A - B - C et D)

Nous allons étudier les variances de ces caractères pour chaque facteur et les comparaisons des moyennes par deux pour chaque caractère.

...

III.4.2 - INFLUENCE DU FACTEUR POSITION EXTERNE (ORIENTEMENT) : NORD, SUD, OUEST, EST

Nous étudions, ici, les variations des caractères qui ont été mesurées sur les carottes de sondage (caractères non destructifs) des quatre orientations nord, sud, ouest et est.

A cet effet, nous avons procédé à une analyse de variance en considérant les trois facteurs (orientation, roche-mère, altitude) comme les origines de variation (source de variance).

Pour analyser tous les caractères présentés par les carottes de sondage, le tableau ci-après⁽³⁹⁾ présente un extrait de l'analyse, sur lequel on peut faire les observations suivantes :

Nous remarquons que l'effet orientation n'a donné aucune différence significative entre les quatre positions nord, sud, ouest et est, sur aucun des caractères. On peut donc dire que si on trouve des variations de mesures entre les échantillons, seuls les orientations ne seraient évidemment pas responsables de ces variations.

Nous avons trouvé des variations significatives en ce qui concerne deux caractères, quand le facteur orientation est combiné à d'autres facteurs, tels que la roche-mère ou l'altitude.

1°) rendement en fibres pour lequel l'interaction orientation x roche-mère est significativement différente ($F = 3,70$)

2°) pourcentage en résine pour lequel l'interaction orientation x roche-mère x altitude est significativement différente ($F = 3,30$)

Nous avons uniquement étudié la première variance en ce qui concerne le rendement en fibres, pour laquelle trois groupes de comparaisons des moyennes ont été faites :

- a) comparaison des moyennes entre chaque position et celle-ci sur les deux types de roche, par exemple : entre nord, sur gabbros, et nord, sur péridotites (Ng - Np) ; le tableau n° 41 a regroupé les différences existantes entre la moyenne des rapports t significatifs pour chaque combinaison.

Source de variance	Largeur des cernes	Densité max.	Densité min.	Infra-densité	Densité > 500	Densité > 650	Densité > 800	Cas de densité < 500	Cas de densité < 800	% résine	Densité max. densité min.	Rendement en fibres	Degré de liberté
Position (orientation)													3
Roche	** 8,25												1
Altitude	** 11,63			* 6,01	* 5,02	* 5,74		* 6,02	* 6,13		* 6,60		1
Position x roche												* 3,70	3
Position x altitude													3
Roche x altitude	** 58,80												2
Position x roche x altitude										* 3,30			3
Erreur													96
Total													111

Tableau n° 39

Valeurs de (F) significatif aux seuils de 5 % et de 1 %
d'après l'analyse de variance sur les caractères des carottes de sondage

Orientement roche-mère	Nord	Sud	Ouest	Est
	(N)	(S)	(W)	(E)
gabbros (g)	42,65	44,01	42,58	44,04
péridotites (p)	43,33	41,89	43,06	41,07

Tableau n° 40

Moyenne du rendement en fibres de l'interaction roche-mère x orientation

	Ng-Np	Sg-Sp	Wg-Wp	Eg-Ep
Différences entre les moyennes	-	2,12	-	2,97
Rapport t	NS	** 3,71	NS	** 5,21

Tableau n° 41a

Comparaison entre la moyenne donnée
des gabbros (g) et celle donnée par les péridotites (p) pour chaque position donnée

	Ng-Sg	Ng-Wg	Ng-Eg	Sg-Wg	Sg-Eg	Wg-Eg
Différences entre les moyennes	1,36	-	1,39	1,43	-	1,51
Rapport t	* 2,38	NS	* 2,43	* 2,50	NS	** 2,64

Tableau n° 41b

Comparaison de moyennes entre chacune des positions sur les roches gabbros

	Np-Sp	Np-Wp	Np-Ep	Sp-Wp	Sp-Ep	Wp-Ep
Différences entre les moyennes	1,44	-	2,26	1,17	-	1,99
Rapport t	* 2,52	NS	** 3,96	* 2,05	NS	** 3,49

Tableau n° 41c

Comparaison de moyennes entre chacune des positions sur les roches péridotites

N S W E : positions Nord, Sud, Ouest, Est
g p : gabbros, péridotites

De ce tableau, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

Deux différences significatives ont été trouvées :

la première, entre la position sud sur les gabbros et cette même position sur les péridotites (Sg - Sp) avec un rapport t très significatif au seuil de 1 % (3,71) ;

la deuxième, entre la position est sur les gabbros et cette même position sur les péridotites avec un rapport t très significatif au seuil de 1 % (5,21).

Nous trouvons donc que l'effet des positions sud et est, sur le rendement en fibres, varie d'une roche à l'autre, tandis que pour le nord et l'ouest, leurs influences sur ce caractère sont analogues dans les deux types de roche.

b) Comparaison des moyennes entre chacune des positions sur les roches-mères "gabbros" ; le tableau n° 41 b regroupe les différences existantes entre les moyennes et les rapports t significatifs. Nous y trouvons quatre différences significatives :

1°) entre les positions ouest et est où la deuxième a donné une moyenne de rendement nettement supérieure à celle donnée par la première (44,04 % contre 42,58 %) (voir le tableau n° 40).

2°) entre les positions sud et ouest où la moyenne donnée par le sud est supérieure à celle donnée par l'ouest (42,01 % contre 42,58 %) ;

3°) entre les positions nord et est où la moyenne donnée par l'est est supérieure à celle donnée par le nord (44,04 % contre 42,65 %) ;

4°) entre les positions nord et sud où la moyenne donnée par la deuxième est supérieure à celle donnée par la première (44,01 % contre 42,65 %).

c) Comparaison des moyennes entre chacune des positions sur les roches-mère "péridotites" ; le tableau n° 41 c regroupe les différences entre les moyennes et les rapports t significatifs. Nous y trouvons également quatre différences significatives entre les orientations au point de vue du rendement en fibres :

1°) différence entre l'ouest et l'est où la moyenne de l'ouest (43,06 %) est nettement supérieure à celle donnée par l'est (41,07 %) ;

2°) différence entre le sud et l'ouest où la moyenne de l'ouest (43,06 %) est encore supérieure à celle donnée par le sud (41,89 %) ;

3°) différence entre le nord et l'est, où la moyenne du nord (43,33 %) est plus élevée que celle donnée par l'est (41,07 %) ;

4°) différence entre le nord et le sud, où la moyenne du nord (43,33 %) est plus élevée que celle donnée par le sud (41,89 %).

D'après les résultats donnés dans les tableaux (41b, c), nous observons que les différences entre les positions sont analogues sur les gabbros et sur les péridotites. Pour mieux comprendre ces résultats, nous avons fait un plan dans la figure n° 39 dans lequel chaque moyenne est écrite à côté de la position correspondante et le rapport (t), qui exprime la signification de la différence entre les moyennes, a été mentionné sur la ligne qui est soit discontinue quand les deux orientations sont significativement différents, soit continue quand les deux positions ne sont pas significativement différentes.

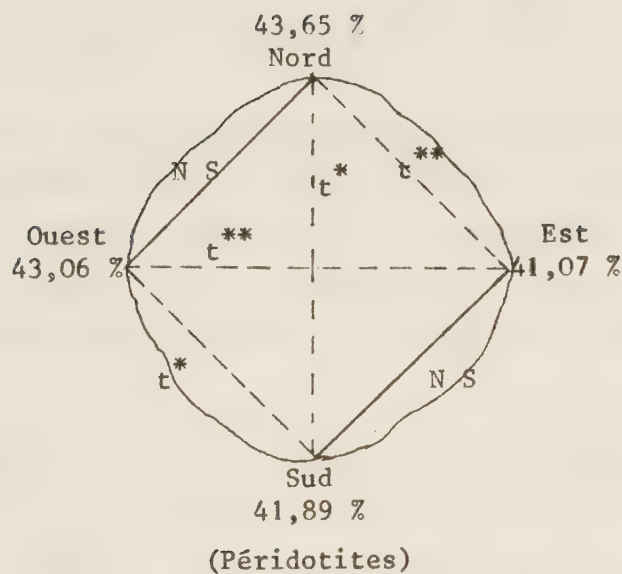
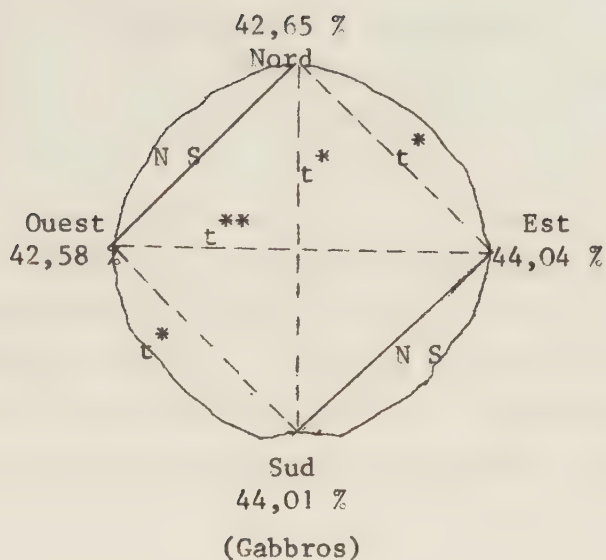


FIGURE N° 39

Schéma représentant la variation du rendement
tre les orientations Nord - Sud - Est - Ouest sur les Gabbros et sur les Péridotites

Nous voyons clairement, dans la figure n° 39, que les deux plans sont semblables, ce qui nous indique que, quelle que soit la roche-mère (gabbros ou péridotites), l'hétérogénéité des rendements en fibres de *Pinus brutia* est due à l'orientation. Nous constatons aussi que le rendement en fibres est toujours très différent pour les deux roches-mères en cause entre deux positions contraires (par exemple : la moyenne du rendement, trouvée dans l'est, sur les gabbros, est de 44,04 %, contre 42,58 % dans l'ouest et, sur les péridotites, de 41,07 %, contre 43,06 % suivant les mêmes orientations). En outre, pour un orientation déterminé, chaque roche a donné une moyenne différente de l'autre (par exemple pour le sud : la moyenne donnée par les gabbros est de 44,01 % contre 41,89 % pour les péridotites), c'est-à-dire que la roche-mère agit différemment sur les rendements tout en gardant le même aspect d'hétérogénéité.

Cette hétérogénéité de rendement, liée à l'orientation, peut être attribuée à l'anisotropie du bois, telle que le bois de compression qui se trouve sur un côté de l'arbre selon la direction du vent (en supposant que la pente n'est plus responsable de la formation du bois de compression).

En effet, une étude concernant la variabilité des rendements en fibres sur *Pinus brutia* (par JANIN, RAHME - 1972) a montré que la différence des rendements était liée à l'orientation. Dans cette étude, des comparaisons de moyennes entre l'orientation, nous avons pu préciser les positions (orientations) dans lesquelles l'hétérogénéité des rendements se trouvait.

Enfin, la raison pour laquelle la comparaison des moyennes entre l'effet de l'orientation propre n'a donné aucune différence significative surtout au point de vue du rendement en fibres, et où, par contre, les moyennes de l'interaction orientation x roche-mère étaient significativement différentes est que, dans la deuxième comparaison, chaque position a donné deux moyennes contraires pour les deux roches (voir le tableau n° 40 et la figure n° 39) alors que chaque moyenne utilisée dans la première comparaison (entre orientations *) était celle de ces deux moyennes contraires. Par conséquent, nous n'avons donc trouvé aucune différence significative entre elles, tandis que, quand nous avons tenu compte des moyennes séparées, dans le cas de la comparaison entre les interactions (orientation x roche-mère), les différences entre elles sont devenues significatives.

...

* Les moyennes générales, par position nord - sud - ouest et est, sont 42,99 - 42,95 - 42,82 et 43,00.

III.4.3 - INFLUENCE DU FACTEUR ROCHE-MÈRE (SOL)

Deux groupes de roches-mères ont été étudiés (voir paragraphe I.2.2) le groupe des péridotites et celui des gabbros, chacun se présentant dans deux altitudes, ce qui nous permet de connaître l'action propre de la roche-mère (ou le sol) quelle que soit l'altitude.

Nous avons procédé à une analyse de variance afin d'étudier l'influence de la roche-mère sur les caractères physiques, mécaniques et micro-densitométriques. Cette analyse peut être considérée comme des comparaisons de moyennes en raison qu'il n'existe que deux niveaux.

III.4.3.1 - Caractéristiques physiques

Nous avons regroupé, dans le tableau n° 42, les valeurs significatives de F au seuil de 5 % et de 1 %, et les moyennes générales par roche.

Caractéristiques physiques	(test)	Moyenne	
	F	Gabbros	Péridotites
largeur des cernes (2)	** 31,00	2,31	2,70
Retrait volumétrique (saturé - anhydre)	** 6,91	13,00	12,48
Retrait axial (saturé - sec à l'air)	** 23,61	0,14	0,22
Retrait axial (saturé - anhydre)	* 3,94	0,23	0,29
Retrait tangentiel (saturé - sec à l'air)	** 8,92	4,75	4,47
Retrait tangentiel (sec à l'air - anhydre)	* 5,06	2,74	2,62
Retrait tangentiel (saturé - anhydre)	** 11,94	7,66	7,22

Tableau n° 42

Extrait d'analyse de variance des caractères physiques,
avec les moyennes, par chaque type de roche-mère

* : significatif au seuil de 5 %
** : significatif au seuil de 1 %

De ce tableau, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

Nous avons trouvé qu'il y avait 7 caractères physiques sur 15 qui ont donné des différences significatives entre les deux types de roche-mère (le groupe des péridotites et celui des gabbros) ; mais la variance n'a pas été d'égale importance pour tous les caractères, car la valeur de F varie d'un caractère à l'autre, ce qui nous permet de mieux classer ces caractères d'après leurs valeurs F et de savoir quels sont les caractères les plus influencés par la variation des roches-mères ou du type de sol :

- 1 - largeur moyenne des cernes qui est la plus susceptible de changer suivant les deux roches-mères ; les moyennes générales des péridotites ont un avantage sur celles des gabbros car elles sont plus grandes (2,70 mm contre 2,31 mm) ;
- 2 - retrait axial entre les états (saturé - sec à l'air) qui est, chez les péridotites, significativement différent de celui des gabbros ; la moyenne des péridotites (0,22) est nettement supérieure à celle des gabbros (0,14).
Donc, le bois des arbres poussant sur les sols formés de péridotites est plus anisotrope que celui des arbres croissant sur l'autre roche ; leurs longueurs longitudinales augmentent au cours du séchage passant de l'état vert à l'état sec à l'air ;
- 3 - retrait tangentiel entre les états (saturé - anhydre) : la valeur F trouvée indique des variations significatives entre les péridotites et les gabbros au point de vue de ce retrait tangentiel au seuil de 1 %, mais les gabbros sont supérieures aux péridotites quant à leur moyenne qui est de 7,66 contre 7,22 ;
- 4 - retrait tangentiel entre les états (saturé - sec à l'air) : les deux roches-mères sont significativement différentes : la moyenne donnée par les gabbros (4,75) est plus grande que celle donnée par les péridotites (4,47) ;
- 5 - retrait volumétrique entre les états (saturé - anhydre) : les gabbros ont donné une moyenne supérieure aux péridotites ;
- 6 - retrait tangentiel entre les états (sec à l'air - anhydre) qui est plus élevé chez les gabbros que chez les péridotites mais sans grande différence ;
- 7 - retrait axial entre les états (saturé - anhydre) : les péridotites ont donné une moyenne un peu supérieure à celle des gabbros.

Nous remarquons ainsi que les arbres, poussant sur les sols à péridotites, se distinguent des autres, poussant sur les sols à gabbros, par des retraits axiaux plus élevés et des accroissements annuels plus larges, ce qui nous fait penser que les sols à péridotites accusent une anisotropie dans le bois, telle que le bois de compression.

III.4.3.2 - Caractéristiques mécaniques

Il semble que les facteurs roches-mères exercent beaucoup moins d'influence sur les caractéristiques mécaniques que sur les caractéristiques physiques du bois de *Pinus brutia*. Cela veut dire que, s'il existe des différences dans les mesures de résistances mécaniques, elles proviennent des autres facteurs que celui des roches-mères. Nous n'avons trouvé qu'une seule variance significative entre les deux types de roches-mères, c'est celle qui concerne le module d'élasticité longitudinal en compression axiale où la moyenne donnée par les gabbros est plus élevée que celle donnée par les péridotites.

III.4.3.3 - Caractéristiques microdensitométriques

Nous avons trouvé deux différences significatives entre les deux roches au point de vue des caractéristiques microdensitométriques :

moyenne des densités maximales annuelles,
et pourcentage de l'hétérogénéité des densités maximales annuelles.

Il n'y a donc pas beaucoup de chance de trouver des différences significatives entre les deux roches-mères en ce qui concerne les caractéristiques microdensitométriques. Le sol issu des ces roches n'agit pas tellement sur ces nouvelles caractéristiques. De plus, l'analyse des variances, faite entre les roches-mères, pour les carottes de sondage (voir tableau n° 39 a encore révélé l'absence complète des différences significatives. En ce qui concerne la densité maximale, la moyenne donnée par les gabbros est supérieure à celle donnée par les péridotites (902 g/dm³ contre 885 g/dm³). Par contre, au point de vue du pourcentage de l'hétérogénéité, les péridotites ont donné une moyenne supérieure à celle donnée par les gabbros (3,1 contre 2,6).

Les résultats d'étude de comparaisons des moyennes, entre les gabros et les péridotites, nous indiquent donc que l'action des roches-mères sur la qualité du bois de *Pinus brutia* dans cette région est très limitée, malgré les variations constitutives entre les deux, surtout au point de vue de la composition physique (texture), car dans une région où la sécheresse estivale est bien marquée, la texture des sols devient très importante au point de vue de l'approvisionnement en eau, celui-ci agissant directement sur la qualité du bois. Si nous faisons un bilan des caractères influencés par les types de roches-mères, nous trouvons 10 caractères sur 28 dans lesquels il y a 6 retraits et, dans les caractères mécaniques, aucune différence significative, entre les gabros et les péridotites (sauf pour le module d'élasticité en compression axiale), ni au point de vue de la résistance contre l'effort statique en flexion, ni dans les résistances contre les efforts en compression axiale et de flanc. C'est donc que, quelle que soit la roche, le bois a toujours les mêmes résistances mécaniques. D'autre part, pour les caractères non destructifs, trois caractères seulement (largeur des cernes, moyenne des densités maximales annuelles et pourcentage d'hétérogénéité de densité maximale) sont influencés par le facteur roche—mère.

D'après ces résultats, nous pouvons déduire que d'autres facteurs, que celui des roches-mères, agissent sur le bois de *Pinus brutia* de la région.

...

III.4.4 - INFLUENCE DU FACTEUR ALTITUDE

Nous allons étudier, dans ce paragraphe, la variance qui existe entre deux altitudes : basse (200-250 m) et haute (550-600 m) où, dans cette dernière, le *Pinus brutia* constitue une forêt assez importante. Chaque altitude a été représentée par deux stations, chacune sur un type de roche différent de l'autre.

Le facteur altitude semble très important au point de vue de l'influence sur les propriétés technologiques de *Pinus brutia* dans la région car nous avons trouvé, d'après les résultats d'analyse de variance, beaucoup de différences significatives entre les deux niveaux d'altitude dans tous les caractères physiques, mécaniques et microdensitométriques. D'autre part, le tableau n° 39, paragraphe III.4.2, présentant l'extrait de l'analyse de variance pour les caractères non destructifs des carottes de sondage, nous a montré que, parmi les trois facteurs étudiés, l'altitude uniquement avait donné des différences significatives.

Pour montrer en particulier l'influence de l'altitude sur chaque type de caractères, nous présentons ci-après les résultats de l'analyse de variance ainsi que les comparaisons des moyennes des caractères physiques, mécaniques et microdensitométriques.

...

III.4.4.1 - Caractéristiques physiques

Dans le tableau n° 43 ci-après, les valeurs F ont été regroupées avec les moyennes des deux niveaux d'altitude.

Caractéristiques physiques	test F	Moyenne basse altitude	Moyenne haute altitude
Infradensité (g/dm ³)	** 94,2	400	453
Largeur des cernes (mm)	** 35,5	2,62	3,27
% humidité restant	** 16,6	8,7	9,5
Retrait volumétrique (saturé - sec à l'air)	* 6,4	7,77	7,29
Retrait volumétrique (saturé - anhydre)	** 15,4	13,14	12,33
Retrait radial (saturé - sec à l'air)	** 26,0	2,79	2,46
Retrait radial (sec à l'air - anhydre)	** 13,1	2,14	1,95
Retrait radial (saturé - anhydre)	** 22,1	4,99	4,49
Retrait axial (saturé - sec à l'air)	** 11,4	0,21	0,16
Retrait tangentiel (saturé - sec à l'air)	* 4,0	4,69	4,50
Retrait tangentiel (saturé - anhydre)	* 4,0	7,55	7,29

Tableau n° 43

Extrait d'analyse de variance, entre les altitudes (basse - haute), pour les caractères physiques, avec les moyennes par altitude

* : significatif au seuil de 5 %
 ** : significatif au seuil de 1 %

Nous pouvons en tirer les conclusions suivantes :

11 différences significatives, entre les altitudes, ont été trouvées pour 11 sur 15 caractères physiques. Nous classons ci-dessous, en ordre décroissant, les caractères les plus influencés par ces facteurs en fonction des valeurs F trouvées :

- 1 - infradensité : caractère le plus influencé par le changement d'altitude (variant de 200 à 600 m environ) où elle diminue de 480 à 453 g/dm³.

Nous pouvons attribuer cette diminution relativement brutale, entre les deux altitudes, au fait que la largeur des cernes augmente avec l'altitude, comme nous allons le voir, ce qui entraîne une diminution de la densité globale.

- 2 - largeur moyenne des cernes : elle passe de 2,62 à 3,27 mm entre 200 et 600 m environ, ce qui entraîne une réduction de la densité globale du bois ;
- 3 - retrait radial entre les états (saturé - sec à l'air) : il passe de 2,79 % à 2,46 % quand l'altitude s'élève de 200 à 600 m environ ;
- 4 - retrait radial entre les états (saturé - anhydre) : il passe de 4,90 % à 4,49 % en allant de 200 à 600 m ;
- 5 - pourcentage d'humidité restant dans les éprouvettes après séchage naturel, lequel a donné, en basse altitude une moyenne d'humidité (8,7 %) inférieure à celle donnée par la haute altitude (9,5 %) ; donc cette augmentation d'humidité s'élevant avec l'altitude peut être expliquée par l'augmentation des cavités cellulaires dans lesquelles l'eau libre peut se localiser, par rapport aux membranes, quand la densité globale diminue ;
- 6 - retrait volumétrique entre les états (saturé - anhydre) : la basse altitude a donné une moyenne de retrait volumétrique supérieure (13,14) à celle donnée par la haute altitude (12,33) ;
- 7 - retrait radial entre les états (sec à l'air - anhydre) : la moyenne de la basse altitude est plus grande (2,14) que celle de l'altitude supérieure (1,95) ;
- 8 - retrait axial entre les états (saturé - sec à l'air) : il diminue avec l'altitude, passant de 0,21 à 0,16 entre 200 et 600 m ;
- 9 - retrait volumétrique entre les états (saturé - sec à l'air) : l'altitude de 200 mètres a donné au bois un retrait volumétrique (7,77%) supérieur à celui donné par l'altitude de 600 m (7,29 %) ;

- 10 - retrait tangentiel entre les états (saturé - sec à l'air) qui a donné une moyenne supérieure (4,69 % contre 4,50 %) dans la basse altitude ;
- 11 - retrait tangentiel entre les états (saturé - anhydre) : en basse altitude, la moyenne de retrait (7,55 %) est plus grande que celle donnée par la haute altitude (7,29 %).

Les résultats nous ont donné certaines constatations très remarquables en ce qui concerne la largeur des cernes, plus que pour l'infradensité : l'augmentation de l'altitude a fait élever la première et abaisser, par conséquent, la deuxième. L'influence de l'altitude sur ces deux caractères essentiels de croissance de *P. brutia* se traduit par l'intervention des facteurs climatiques dont la pluviosité est le plus important dans notre région. Nous avons trouvé, dans le tableau n° 3 présenté en première partie, qu'une altitude allant de 8 à 400 m avait fait passer la précipitation annuelle de 879 à 1 167 mm, ce qui est important par rapport à la température car les paramètres de température n'ont pas montré de différence aussi frappante entre 8-400 m d'altitude, surtout en ce qui concerne la moyenne des minima du mois le plus froid. Donc, en allant de 200 à 600 m (même différence que précédemment), les quantités d'eau disponibles pour les arbres devront augmenter, ce qui conduit finalement à encourager la croissance en formant des cernes larges riches en bois initial et, par conséquent, à réduire la densité globale.

POLGE H et KELLER R. (1968) ont trouvé, d'après leur expérience sur pins sylvestres âgés de 28 ans en forêt d'Amance, au point de vue de l'influence de l'approvisionnement en eau sur la structure interne des accroissements annuels entre les deux années 1966-1967, que le cerne de 1967 était plus large de 23 % que celui de 1966 pour les arbres irrigués.

En ce qui concerne les retraits, nous pouvons encore attribuer la supériorité de la basse altitude au fait que l'infradensité y est supérieure et que les parois cellulaires sont plus épaisses.

III.4.4.2 - Caractéristiques mécaniques

Le tableau ci-après (n° 44) regroupe les valeurs F de chaque différence significative entre les deux altitudes et donne la moyenne générale par altitude.

Caractéristiques mécaniques	F	Basse altitude	Haute altitude
Charge de rupture en flexion statique (kg/cm ²)	* 5,9	48,4	46,1
Charge de rupture en compression axiale (kg/cm ²)	** 6,6	537	509
Charge maximum en compression de flanc (kg/cm ²)	** 37,5	222	205

Tableau n° 44

Extrait d'analyse de variance, entre les altitudes, pour les caractères mécaniques et la moyenne par altitude

Nous y trouvons trois différences significatives :

- 1 - la charge de rupture en flexion statique qui a été plus élevée en basse altitude qu'en haute altitude (48,4 contre 46,1 kg/cm²) ;
- 2 - la charge de rupture en compression axiale ; la basse altitude a donné la moyenne de charge la plus forte (537 contre 509 kg/cm²) ;
- 3 - la charge maximale atteinte en compression de flanc semble être le caractère le plus influencée par le facteur altitude, la valeur F trouvée est très élevée et la différence entre les deux moyennes est assez importante : la basse altitude a donné 222 kg/cm² contre 205 kg/cm² donnés par la haute.

Nous trouvons, d'après les résultats, que *Pinus brutia* voit se réduire ses résistances mécaniques en flexion statique et en compression axiale et de flanc quand l'altitude augmente, du fait de la chute de densité due à l'accroissement rapide des cernes, d'une part, et à l'abondance de bois initial, d'autre part.

III.4.4.3 - Caractéristiques microdensitométriques

Les valeurs F significatives sont regroupées dans le tableau n° 45 où nous trouvons des différences très significatives au point de vue de tous les caractères de variance de la densité. Nous les classons ci-dessous en ordre décroissant au fur et à mesure de leur degré de signification (valeur F) :

- 1 - pourcentage de bois ayant une densité > 650 g/dm³ qui est le plus influencé par les différentes altitudes ; il passe de 32,6 % à 27,2 % quand l'altitude va de 200-250 m à 550-600 m ;

...

- 2 - pourcentage de bois ayant une densité ≥ 500 g/dm³ : il varie considérablement avec l'altitude et est beaucoup plus grand dans la basse altitude que dans la haute ; il est passé de 61 % à 50 % pour une différence d'altitude de 350 m ;
- 3 - pourcentage de bois ayant une densité ≥ 800 g/dm³ : il passe de 18,2 % à 13,1 % entre 250 à 600 m environ ;
- 4 - moyenne des densités minimales annuelles - la moyenne générale pour chaque altitude nous montre que la densité minimale est passée de 444 g/dm³ à 425 g/dm³ pour une augmentation de 350 m d'altitude ;
- 5 - moyenne des densités maximales annuelles : elle diminue avec l'altitude. Nous avons trouvé une réduction allant de 906 à 880 g/dm³ pour une différence d'altitude de 350 mètres.

Caractéristiques microdensitométriques	F	Basse altitude	Haute altitude
Densité maximale (g/dm ³)	** 16,3	906	880
Densité minimale (g/dm ³)	** 24,4	444	425
% de bois ayant une densité ≥ 500 g/dm ³	** 67,3	61,0	50,0
% de bois ayant une densité ≥ 650 g/dm ³	** 67,6	32,6	27,2
% de bois ayant une densité ≥ 800 g/dm ³	** 63,8	18,2	13,1

Tableau n° 45

Extrait de l'analyse de variance
entre les altitudes et moyenne générale de chacune
pour les caractères microdensitométriques

Etant donné que la densité globale (infradensité) est le caractère physique le plus influencé par la variation d'altitude (car nous avons trouvé des différences significatives avec $F = 94,2$), il est donc bien normal que ses composantes se transforment au fur et à mesure, sous l'action de l'altitude. Nous avons effectivement trouvé que les valeurs F étaient toujours très significatives au seuil de 1 %. En ce qui concerne les caractères microdensitométriques, ce sont surtout les pourcentages de bois d'été qui ont été très remarquables.

Cette influence s'explique comme dans le paragraphe précédent, c'est-à-dire que l'action de l'altitude se manifeste principalement dans le rôle de l'approvisionnement en eau dans le sol car celui-ci augmente en fonction de l'altitude du fait de la pluviosité annuelle, d'une part, et de l'évaporation, d'autre part, en allant de la basse vers la haute altitude.

Ce sont donc les raisons pour lesquelles la formation du bois se modifie avec l'altitude. KRAMER P. J. (1964) a montré que l'eau disponible aux racines des arbres forestiers favorise, avec la température, la formation du bois initial par l'abondance de l'auxine et des carbohydrates qui agissent sur l'activité cambiale et ZAHNER (1963) a encore montré que la transition du bois initial au bois final commence normalement juste quand la quantité d'eau devient insuffisante.

Cette différente formation du bois conduit, bien entendu, à la variation des caractères mécaniques où les résistances, aussi bien en flexion qu'en compression, sont liées aux pourcentages de bois d'été et elles vont en diminuant quand les accroissements annuels deviennent larges et riches en bois initial par l'abondance de pluie ou de l'humidité du sol pendant les saisons de végétation. Finalement, l'influence de l'altitude sur la qualité du bois, par l'approvisionnement en eau, se retrouve aussi chez d'autres essences, vivant dans les mêmes conditions, que chez *Pinus brutia* mais cette manifestation dépend des conditions écologiques. Par exemple, KTISCHLER (1971) a montré qu'il n'y a pas de différence significative entre les caractéristiques de *Pinus brutia* et de *Pinus halepensis* en Israël poussant dans les mêmes conditions : *Pinus halepensis* de provenances diverses a donné, dans la station Oiryat'Anovim (station la plus haute avec 550 m d'altitude et la plus humide) des caractéristiques du bois variant de la même façon que *Pinus brutia* en Syrie.

...

II.4.5 - INFLUENCE DU FACTEUR POSITION INTERNE (NIVEAU DE RAYON)

Trois positions ont été étudiées, chacune représentant une référence de rayons (*) :

- (0 - 30 %) correspondant au bois de coeur
- (35 - 60 %) correspondant au bois intermédiaire entre le coeur et l'écorce
- (65 - 100 %) correspondant au bois proche de l'écorce.

Nous avons procédé à une analyse de variance pour savoir s'il y avait une différence significative entre les rayons au point de vue des caractères physiques, mécaniques et microdensitométriques, puis à une analyse de comparaison des moyennes quand la différence était significative afin de connaître la variation des caractères suivant la position. Dans la figure n° 40, nous avons fait des diagrammes représentant la variation de chaque caractère significatif depuis le coeur jusqu'à l'écorce.

III.4.5.1 - Caractéristiques physiques

Pour les caractères physiques, les valeurs F significatives et les moyennes générales de chaque position (niveau de rayon) sont regroupées dans le tableau n° 46 duquel on peut tirer les observations suivantes :

Parmi 15 caractères, les niveaux de rayon sont significativement différents pour trois caractères : infradensité, largeur moyenne des cernes et retrait volumétrique entre les états sec à l'air et anhydre.

Caractères physiques	F	($\bar{X}_1$)	($\bar{X}_2$)	($\bar{X}_3$)
Infradensité (g/dm ³)	** 65,1	450	464	508
Largeur des cernes (mm)	** 27,8	3,47	2,95	1,93
Retrait volumétrique (sec à l'air - anhydre)	** 4,671	4,68	4,86	5,75

Tableau n° 46

Extrait d'analyse de variance
entre les positions internes (niveau de rayon) pour les caractères physiques

$\bar{X}_1$: moyenne du bois de coeur (0 - 30 rayon)

$\bar{X}_2$: moyenne du bois entre le coeur et l'écorce (35 - 60 rayon)

$\bar{X}_3$: moyenne du bois d'écorce (65 - 100 rayon)

...

(*) Termes non normalisés.

Caractères physiques	Entre les positions 1 - 2		Entre les positions 1 - 3		Entre les positions 2 - 3	
	$\bar{X}_1 - \bar{X}_2$	T	$\bar{X}_1 - \bar{X}_3$	T	$\bar{X}_2 - \bar{X}_3$	T
Densité (g/dm ³)	- 14	** 3,76	- 58	** 13,64	- 44	** 9,39
Écart des cernes (mm)	0,52	** 3,65	1,54	** 8,99	1,02	** 5,31
Contraste volumétrique (l'air - anhydre)	-	-	- 1,07	** 2,97	- 0,89	* 2,67

Tableau n° 47

Extrait de comparaisons des moyennes
entre les positions internes (rayon), pour les caractères physiques

- * : significatif au seuil de 5 %
- ** : significatif au seuil de 1 %

1, 2, 3 : références des positions (coeur, intermédiaire, écorce)

$\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3$: moyennes des positions (coeur, intermédiaire, écorce)

...

- 1 - Nous trouvons que l'infradensité est le caractère qui varie le plus d'une position à l'autre car le rapport ($F = 65,1$) est très important. Dans le diagramme n° 1 de la figure n° 40, elle est passée de 450 g/dm³ à 508 g/dm³ depuis le coeur jusqu'à l'écorce et, pour préciser entre quel niveau se produit la variance, nous avons comparé chaque niveau de rayon avec l'autre, c'est-à-dire entre les niveaux 1 - 2, 1 - 3, 2 - 3 ; les rapports T et les différences entre les moyennes sont donnés dans le tableau , sur lequel on remarque que chaque niveau est indépendant et significativement différent des autres avec des rapports T significatifs.
- 2 - La largeur des cernes, au contraire, diminue du coeur vers l'écorce. Dans le diagramme n° 2 de la figure n° 40, nous trouvons des variations de la largeur des cernes considérables et les résultats de comparaison des moyennes, figurant dans le tableau n° 47, nous indiquent que chaque position a été significativement différente des autres et complètement indépendante, car les valeurs T trouvées ont été très significatives dans les trois combinaisons.
- 3 - Pour l'infradensité et la largeur des cernes, le retrait volumétrique entre l'état sec à l'air et l'état anhydre montre des différences entre les moyennes des positions relativement moins élevées. Les valeurs T trouvées dans le tableau n° 47 ainsi que le diagramme n° 3 de la figure n° 40 nous montrent qu'il n'y a pas de différence entre le bois de coeur et le bois intermédiaire : ils apparaissent comme étant identiques alors que le bois proche de l'écorce est significativement différent ; dans ce dernier, le retrait volumétrique est nettement supérieur aux autres.

...

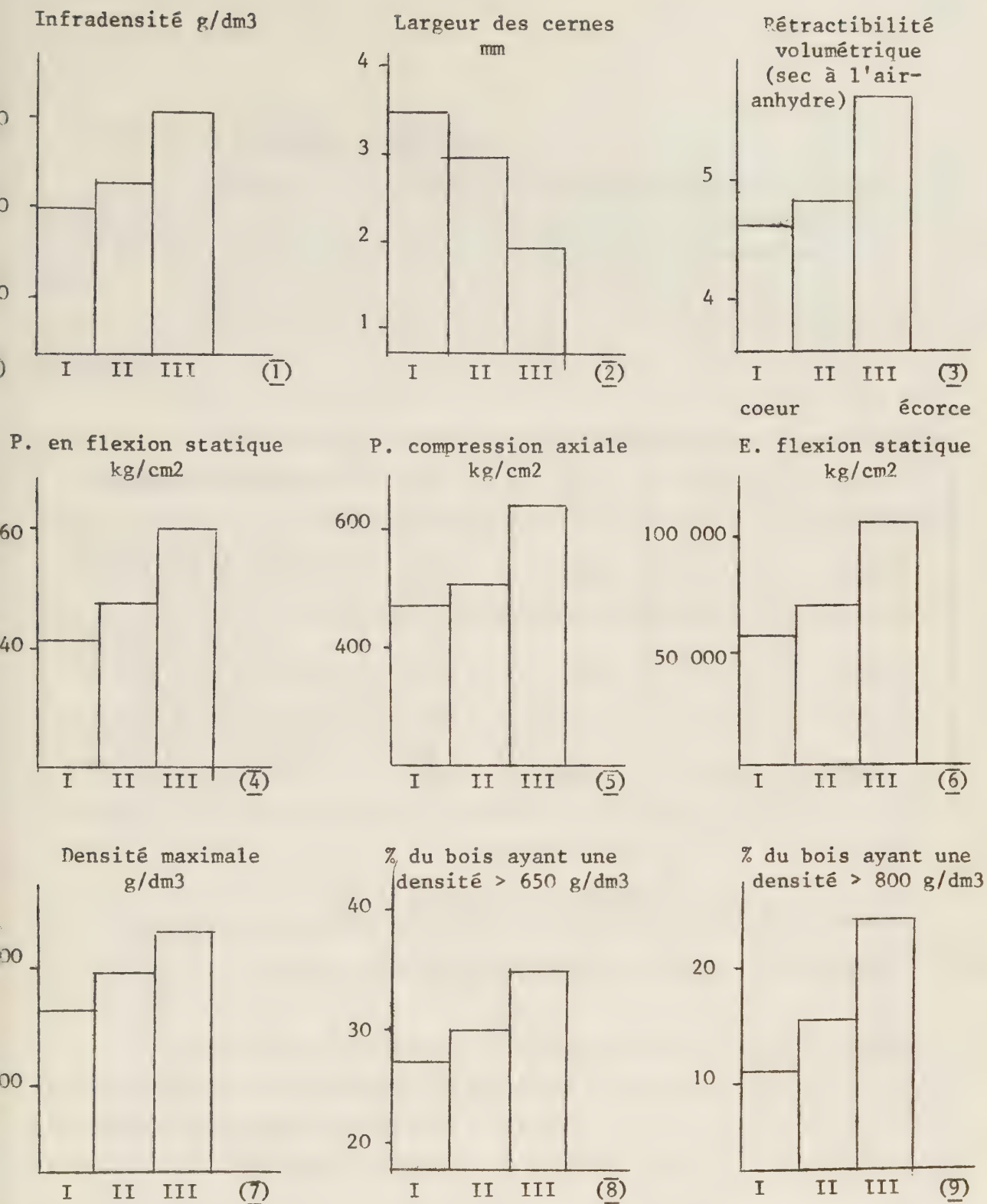


FIGURE N° 40

Diagrammes représentant la variation des caractéristiques
entre les positions internes de bois

P. : charge de rupture,
E. : module d'élasticité

I : bois très proche du coeur	0-30 % de rayon
II : bois intermédiaire	35-60 % de rayon
III : bois très proche de l'écorce	65-100 % de rayon.

III.4.5.2 - Caractères mécaniques

Le tableau n° 48 indique, pour chaque caractère mécanique, les moyennes des positions qui sont apparues comme étant significativement différentes les unes des autres et les valeurs du rapport F significatif qui sont toutes significatives au seuil de 1 %. Le tableau n° 49 regroupe les différences entre chacune des deux moyennes et les valeurs de rapports T significatifs.

Caractères mécaniques	F	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$	$\bar{X}_3$
Charge de rupture en flexion statique (kg/cm ²)	** 66,3	41,2	47,1	60,4
Charge de rupture en compression axiale (kg/cm ²)	** 37,9	475	517	647
Module d'élasticité en flexion statique (kg/cm ²)	** 26,4	55 920	67 370	105 920

Tableau n° 48

Extrait d'analyse de variance,
avec les moyennes par position, pour les caractères mécaniques

$\bar{X}_1$, $\bar{X}_2$, $\bar{X}_3$: moyennes des positions internes (coeur, intermédiaire, écorce)

D'après les résultats de l'analyse de variance, nous trouvons ainsi trois caractères pour lesquels les positions internes des éprouvettes (rayon) sont significativement différentes : les deux charges de rupture en flexion statique et en compression axiale et le module d'élasticité en flexion statique.

- 1 - La charge de rupture en flexion statique est très influencée par le facteur position (le test F est très élevé - 66,3). Elle varie fortement de 41,2 kg/cm² pour le bois de coeur (entre 0 - 30 % de rayon) à 60,4 kg/cm² pour le bois ^{voisin de} l'écorce (entre 65 - 100 % de rayon) ; la moyenne des positions entre les bois de coeur et d'écorce a été de 47,1 kg/cm², ce qui est égal à la moyenne générale de toutes les populations de *Pinus brutia*.

...



Il y a donc une chute considérable de résistance en flexion statique à partir de l'écorce vers l'axe de la tige (diagramme n° 4 de la figure n° 40) due à la diminution importante de la zone de bois final à densité relativement élevée, d'une part, et à la réduction des épaisseurs des membranes qui sont responsables de la résistance ; d'autre part, ils sont moins lignifiés et moins raides.

2 - En ce qui concerne la charge de rupture en compression axiale, le résultat de la comparaison entre deux moyennes de position est donné dans le tableau . Nous trouvons que la moyenne de la charge de chaque position est indépendante et significativement différente des autres avec des valeurs T toutes significatives au seuil de 1 %. Il y a une réduction de 130 kg/cm2 entre l'écorce et le coeur, ce qui est une baisse très importante de la qualité mécanique de *Pinus brutia* (voir le diagramme 5 de la figure

Caractères mécaniques	Entre positions 1 - 2		Entre positions 1 - 3		Entre positions 2 - 3	
	$\bar{X}_1 - \bar{X}_2$	T	$\bar{X}_1 - \bar{X}_3$	T	$\bar{X}_2 - \bar{X}_3$	T
Charge de rupture en flexion statique (kg/cm2)	- 5,9	** 5,00	- 19,2	** 13,88	- 13,3	** 8,68
Charge de rupture en compression axiale (kg/cm2)	- 42	** 3,01	- 172	** 10,43	- 130	** 7,08
Module d'élasticité en flexion statique (kg/cm2)	- 11 450	* 2,39	- 50 000	** 8,65	- 38 550	** 6,00

Tableau n° 49

Extrait de comparaisons des moyennes
entre les positions internes (rayons), pour les caractères mécaniques

3 - Le module d'élasticité, en flexion statique, étant en corrélation très étroite avec la charge de rupture en flexion statique, a varié également au fur et à mesure de la position interne, mais moins fortement qu'avec la charge. Le module d'élasticité de chaque position interne est indépendant et celle-ci est significativement différente des autres positions.

Dans le diagramme n° 6 de la figure n° 40, nous voyons une diminution remarquable du module, de l'écorce vers le coeur. La moyenne du module d'élasticité trouvée dans l'écorce est presque double de celle trouvée dans le bois de coeur (105 920 kg/cm² contre 55 920 kg/cm²).

Pour les poteaux de ligne choisis selon le module d'élasticité en flexion statique, c'est l'élasticité de la partie périphérique qui est la plus importante, étant donné que la qualité mécanique d'un poteau dépend des qualités intrinsèques de cette zone.

...

III.4.5.3 - Caractères microdensitométriques

Pour les caractères microdensitométriques, les valeurs F significatives et les moyennes de chaque position (niveau de rayon) sont regroupées dans le tableau n° 50 et les valeurs T significatives et les différences entre chacune des deux moyennes sont également regroupées dans le tableau n° 51, à partir desquels nous pouvons faire les observations suivantes :

D'après les résultats de l'analyse de variance, nous trouvons que les positions internes sont significativement différentes au point de vue des trois caractères microdensitométriques qui sont des caractéristiques de la densité élevée, tels que la densité maximale et les deux pourcentages du bois ayant une densité supérieure aux deux seuils 650 et 800 g/dm³ ; entre les niveaux de rayons de 0 % à 100 %, c'est-à-dire à partir du bois de coeur jusqu'au bois/voisin de l'écorce, la texture augmente vraisemblablement, étant donné que le niveau de densité 650 peut être une référence indiquant probablement la fin de la zone du bois initial et le commencement de la zone du bois final.

Caractères microdensitométriques	F	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$	$\bar{X}_3$
Densité maximale (g/dm ³)	** 16,7	867	896	933
% de bois ayant une densité > 650 g/dm ³	** 18,8	27,3	29,7	35,0
% de bois ayant une densité > 800 g/dm ³	** 63,8	11,2	15,7	24,2

Tableau n° 50

Extrait d'analyse de variance
entre les positions internes, pour les caractères microdensitométriques

$\bar{X}_1$, $\bar{X}_2$ et $\bar{X}_3$: moyennes des positions coeur, intermédiaire, écorce

Pour expliquer en particulier la variation des caractères microdensitométriques en fonction de la position interne, nous expliquons ci-après la variation propre de chacun de ces caractères pour lesquels les positions sont significativement différentes :

- 1 - Au point de vue de la moyenne des densités maximales annuelles, chaque position est indépendante et significativement différente des autres positions avec un rapport T très significatif. La densité maximale diminue de l'écorce vers le coeur. Voir le diagramme n° 7 de la figure n° 40 sur laquelle nous observons une réduction de 66 g/dm3 de la densité.
- 2 - Au point de vue du pourcentage du bois ayant une densité > 650 g/dm3, pour lequel les positions sont significativement différentes, nous avons encore trouvé, d'après le tableau n° 51, les trois valeurs T significatives au seuil de 1 %, correspondant aux trois combinaisons de comparaisons des moyennes deux à deux, pour lesquelles nous constatons que la différence entre le bois de coeur et le bois intermédiaire est moins nette qu'entre le bois intermédiaire et le bois voisin de l'écorce (2 - 3) ; une remarque peut être faite à propos de presque tous les caractères (voir le diagramme n° 8 de la figure n° 40).

Caractères microdensitométriques	Entre positions 1 - 2		Entre positions 1 - 3		Entre positions 2 - 3	
	$\bar{X}_1 - \bar{X}_2$	T	$\bar{X}_1 - \bar{X}_3$	T	$\bar{X}_2 - \bar{X}_3$	T
Densité maximale (g/dm3)	- 29	** 3,56	- 66	** 6,84	- 37	** 3,45
% de bois ayant une densité > 650 g/dm3	- 2,4	** 2,79	- 7,7	** 7,41	- 5,3	** 4,54
% de bois ayant une densité > 800 g/dm3	- 4,5	** 5,59	13,0	** 13,61	8,5	** 7,98

Tableau n° 51

Extrait de comparaisons des moyennes
entre les positions internes, pour les caractères microdensitométriques

$\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3$: moyennes des positions coeur, intermédiaire, écorce.

- 3 - En ce qui concerne le pourcentage du bois ayant une densité > 800 g/dm3, la variation est extrêmement marquée entre les positions car la valeur F est très élevée (63,8). En outre, la comparaison des moyennes entre chacune des positions nous montre que chaque position est indépendante et significa-

tivement différente des autres. Le pourcentage de bois à densités très élevées devient de plus en plus petit à partir du bois proche de l'écorce jusqu'au bois de coeur (voir le diagramme n° 9 de la figure n° 40).

Les résultats de cette comparaison des moyennes nous a indiqué que les qualités physiques et mécaniques se modifient progressivement du coeur vers l'écorce en manifestant un ralentissement dans la croissance mais, par contre, une augmentation de la densité ainsi que de la texture du bois. Ceci conduit, par conséquent, à une augmentation assez importante de la résistance mécanique soit en flexion statique, soit en compression axiale. Mais ce changement de la qualité du bois semble plus brutal entre la position intermédiaire et l'écorce qu'entre la première et le coeur ; il est lié probablement au fait que les arbres sont généralement jeunes et que leur bois juvénile peut dépasser quelquefois la limite adoptée comme étant celle du bois du coeur (de 0 à 30 % de rayons).

...

I.4.6 - INFLUENCE DU FACTEUR STATION ET CLASSEMENT DES QUATRE STATIONS D'APRES LES CARACTERES PHYSIQUES, MECANIQUES ET MICRODENSITOMETRIQUES

III.4.6.1 - Définition

Nous avons déjà expliqué, dans les paragraphes précédents, l'influence propre de la roche-mère, quelle que soit l'altitude, et de l'altitude, quelle que soit la roche-mère et les variations significatives des propriétés physiques, mécaniques et microdensitométriques du bois de *Pinus brutia*. Dans ce paragraphe, nous allons expliquer l'influence des stations dans lesquelles plusieurs facteurs combinés se manifestent, tels que les roches-mères, les altitudes, les conditions générales de peuplement (âge, pente, densité du peuplement, etc...) et le facteur hérédité*. Comme nous l'avons déjà dit dans le chapitre des corrélations, chaque station a un comportement particulier vis à vis des propriétés du bois car quelques corrélations entre caractères se présentaient uniquement dans une ou plusieurs stations parmi les quatre. Nous pouvons donc considérer chaque station comme indépendante des autres.

Notre but de comparaison est d'abord de connaître l'avantage de chaque station au point de vue des caractères de la qualité du bois, afin de mettre sur pied un aménagement convenable pour chaque station et d'orienter l'exploitation forestière pour qu'elle devienne plus rentable. Et ensuite, de connaître la liaison qui existe entre chaque station ce qui donne 6 combinaisons pour chaque caractère.

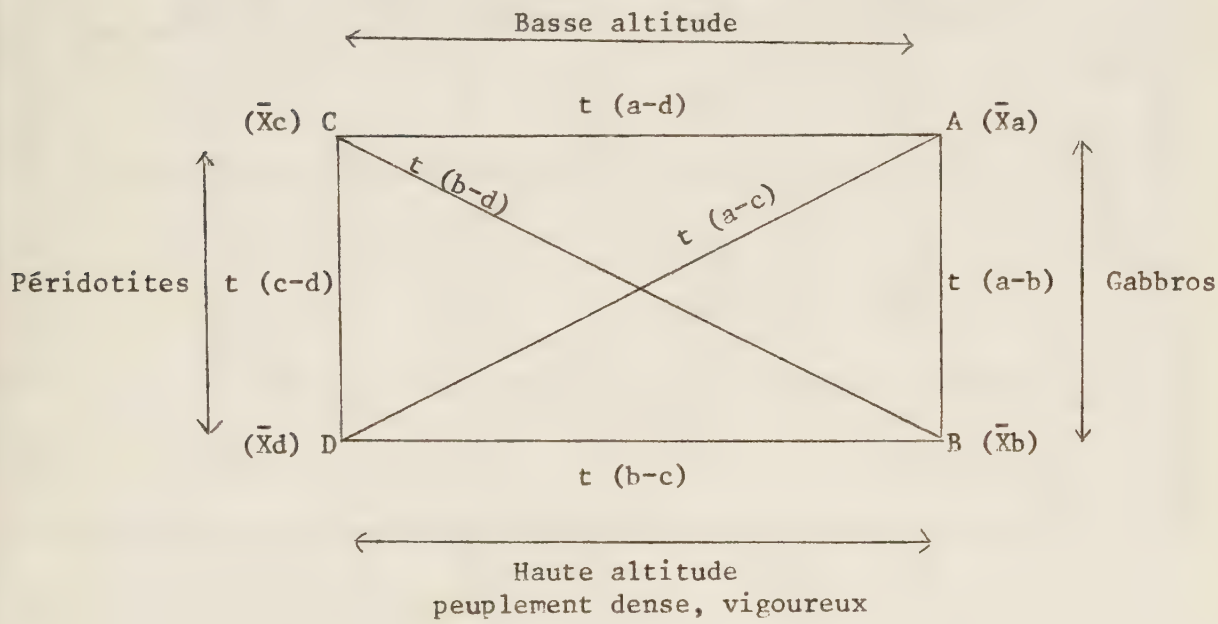
Nous proposons une présentation particulière des résultats des comparaisons de moyennes dans la figure n° 41 où les valeurs des diverses stations sont reportées sur les 4 angles d'un rectangle A B C D, dans lequel le petit côté A-B représente la roche des gabbros et le petit côté C-D la roche des périodites, les altitudes étant représentées par les deux grands côtés A-C (basse altitude) et B-D (haute altitude).

...

* L'influence de la station est évidemment la plus active car elle réunit beaucoup de facteurs dont deux ont été contrôlés : la roche-mère et l'altitude. L'opinion de VENET J. (1962), à ce propos, se trouve dans la thèse de M. BECKER (1971) : "au point de vue de l'aspect, aussi bien que des propriétés physiques, mécaniques et technologiques du bois, l'influence de la station et du traitement est souvent beaucoup plus grande d'ailleurs que celle de l'essence.

Donc, chaque côté et chaque diagonale du rectangle correspondent à une comparaison entre les moyennes de deux stations où la valeur du test T est indiquée sur la droite et les moyennes aux extrémités. Dans le cas de deux moyennes significativement différentes, la droite reliant les deux stations est discontinue et dans le cas où les deux moyennes ne sont pas significativement différentes, la droite entre les deux est continue.

Avant de commencer, il est utile de rappeler quelques renseignements concernant les caractères écologiques et les conditions générales de peuplement pour chaque station afin de présenter la différence qui existe entre elles. Le tableau n° regroupe tous les renseignements par station.



Rectangle représentant les résultats de comparaisons de moyennes entre les stations

$\bar{X}_a, \bar{X}_b, \bar{X}_c, \bar{X}_d$: moyennes des stations A, B, C, D
 $t(a-b), t(a-c), \text{etc...}$: valeur t entre les stations A et B, A et C, etc...

FIGURE n° 41

Tableau n° 52
Renseignements sur les stations A, B, C et D

Stations	Groupes de roche-mère	Altitude (m)	Pente %	Age (an)	Expositions	Diamètre (cm)	Aspect du peuplement	Sous-étage
A	Gabbros diorites dolérites	200	5 - 10	48	Ouest - sud-est	24	Peuplement plus ou moins dégradé. Clair à densité moyenne	Quercus calliprinos Myrtus communis Pistacia palastina Phillyrea latifolia Cistus villosus Cistus salviaefolius etc...
B	"	550	30 - 45	30	Ouest - sud est	25	Peuplement mixte de 60 % de Pinus brutia Ten. et de 40 % de Quercus pseudocerris. Assez dense et vigoureux.	Quercus pseudocerris Quercus calliprinose Arbutus andrachne Cercis seliguastrum Pistacia palastina etc...
C	Péridotites Pyroxéniques	250	5 - 25	39	Nord est - sud est	25	Peuplement de densité moyenne à forte	Myrtus communis Cistus villosus Cistus salviaefolius Phamus punctata Phillyrea latifolia
D	"	600	5 - 15	58	Ouest - nord est	30	Peuplement mixte de pinus brutia Ten. et Quercus pseudocerris ; mais le pin est dominant, il est dense et vigoureux	Quercus pseudocerris Cistus villosus Cistus salviaefolius Pistacia palastina Ptoisimopappus bracteatus

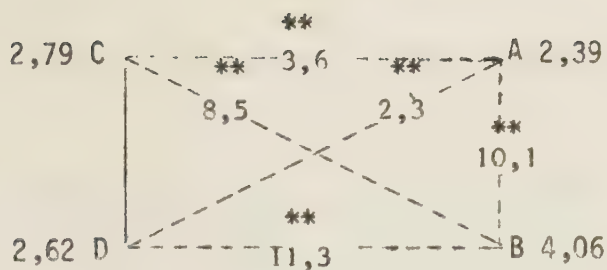
III.4.6.2 - Caractéristiques physiques

Les valeurs du test F et du test T significatives de l'analyse de variance et de comparaison des moyennes des caractères physiques, sont regroupées dans l'annexe n° 1, au sujet duquel nous pouvons faire les observations suivantes :

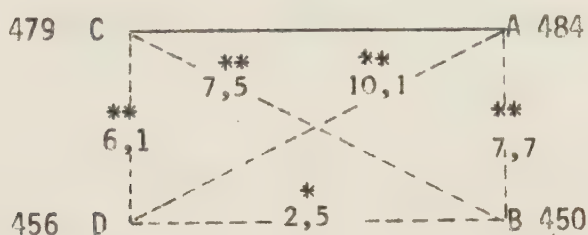
Nous trouvons 11 caractères physiques sur 15 pour lesquels les stations sont significativement différentes, ce qui montre l'influence remarquable de la station sur les caractères physiques. C'est le facteur le plus fort par rapport aux autres facteurs déjà présentés car, en effet, le facteur station est la somme de l'ensemble des facteurs. De plus, les facteurs généraux du peuplement jouent un rôle assez important sur la croissance des arbres. Et pour montrer a priori qu'ils sont les caractères les plus variables en fonction du facteur station, un classement des caractères, rangés suivant un ordre décroissant des valeurs de F, a été fait. Pour chaque caractère, un rectangle représentant les résultats de comparaisons des moyennes a été également fait afin de mettre en évidence les liaisons existant entre deux stations (figure n° 42).

...

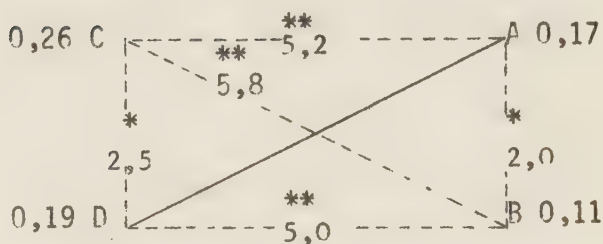
largeur moyenne des cernes mm
 (F = 45,0)



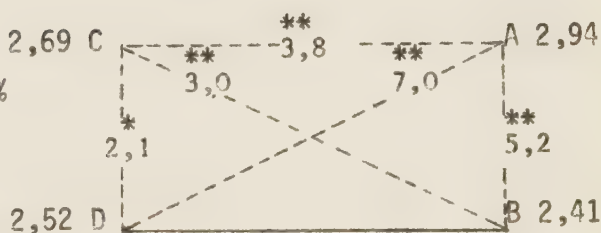
infradensité g/dm³
 (F = 32,7)



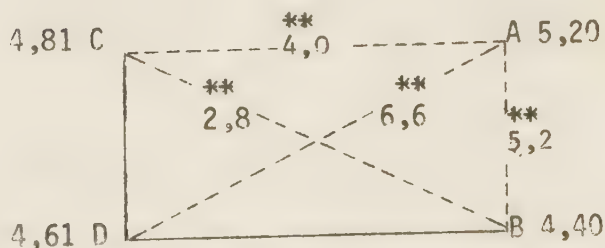
Retrait axial (saturé - sec à l'air) %
 (F = 11,8)



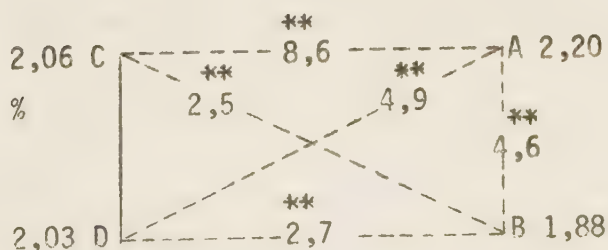
Retrait radial (saturé - sec à l'air) %
 (F = 10,7)



Retrait radial (saturé - anhydre) %
 (F = 10,1)



Retrait radial (sec à l'air - anhydre) %
 (F = 7,4)

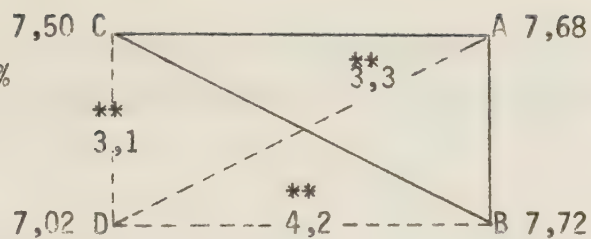


FIGURES n° 42

Rectangles représentant la comparaison des moyennes entre les stations pour les caractéristiques physiques significatives

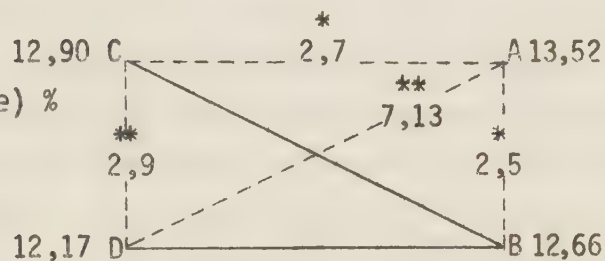
Retrait tangentiel (saturé - anhydre) %

(F = 7,2)



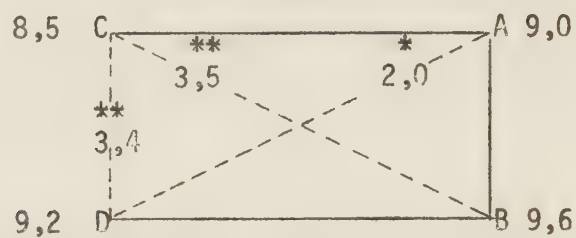
Retrait volumétrique (saturé - anhydre) %

(F = 7,2)



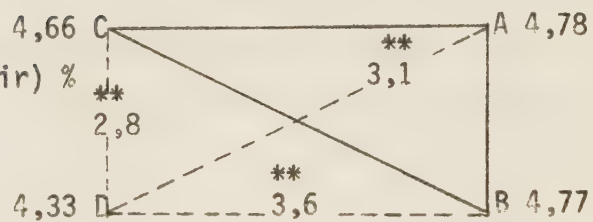
% D'humidité restant

(F = 6,2)



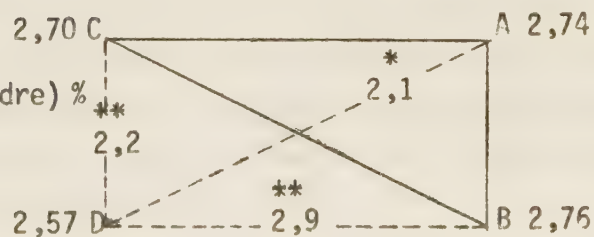
Retrait tangentiel (saturé - sec à l'air) %

(F = 5,6)



Retrait tangentiel (sec à l'air - anhydre) %

(F = 3,4)



D'après ces résultats, nous trouvons que l'infradensité et la largeur des cernes sont les caractéristiques les plus susceptibles de varier suivant les facteurs des stations.

a) Pour la largeur des cernes, toutes les stations sont significativement différentes les unes des autres ; seules les stations C et D ne se distinguent pas significativement l'une de l'autre. La valeur F, trouvée d'après l'analyse de variance, est remarquablement élevée et les rapports T qui indiquent le degré de signification de la différence entre les stations prises 2 à 2 sont également très significatifs. La moyenne la plus élevée a été donnée par la station B (4,06 mm) dans laquelle les arbres sont les plus jeunes (30 ans). On attribue cela à la liaison étroite et négative déjà trouvée entre la largeur des cernes et l'âge des arbres ; de plus, les conditions générales de croissance y sont assez favorables car la station se trouve à l'altitude de 550 m ; la pluviosité y est abondante, surtout en début de saison de végétation, elle encourage les assises génératrices à former des bois à accroissements larges mais à densité globale relativement faible.

La station D, elle, se trouve également à l'altitude de 600 m et a presque les mêmes conditions météorologiques que B. La moyenne de la largeur des cernes (2,62 mm) est nettement inférieure à celle donnée par la station B (4,06 mm). Cela indique que ce n'est pas seulement l'effet altitude qui agit sur l'accroissement des arbres dans les stations, mais encore d'autres facteurs combinés à celui-ci, dans lesquels deux facteurs peuvent être contrôlés, la roche-mère et l'âge, qui agissent ensemble. En effet, pour la station D, ces deux derniers facteurs sont réellement défavorables à la largeur des cernes. Les péridotites sont des roches dures et relativement sèches, formant des sols de mauvaise texture malgré une quantité considérable de pluie tombant dans cette station. L'âge moyen du peuplement y est relativement élevé par rapport à celui de la station B (58 ans contre 30 ans) ; ceci entraîne, d'après la corrélation négative entre l'âge et la largeur des cernes, un ralentissement de l'accroissement en largeur par une réduction importante du bois initial.

b) Pour l'infradensité, les résultats trouvés sont contraires à ceux de la largeur des cernes. La station A, qui a donné la moyenne de largeur des cernes la plus faible, a donné, ici, pour l'infradensité, la moyenne la plus élevée. Par contre, la station B, ayant donné la moyenne de la largeur des cernes la plus élevée, a donné une moyenne d'infradensité la plus basse.

Etant donné que, d'une part, il n'y a pas de différence significative entre les stations A et C et que, d'autre part, la valeur du test t entre les stations B et D est nettement plus faible que celle qui existe aussi bien entre A et B qu'entre C et D, nous pouvons dire que l'infradensité est beaucoup plus influencée par le facteur altitude que par le facteur roche-mère ou sol.

Pour une roche-mère donnée, l'infradensité varie considérablement d'une altitude à l'autre. Sur les gabbros, nous trouvons qu'elle diminue, de 484 à 450 g/dm³, en allant de 250 à 550 m et sur les péridotites, elle diminue également, de 479 à 456 g/dm³, en allant de 200 à 600 m.

c) Pour les rétractibilités, les stations sont encore significativement différentes les unes des autres avec cependant une certaine liaison entre elles. Dans les stations (A - C) situées en basse altitude, les retraits radiaux sont toujours plus élevés que dans les stations (B - D) situées en haute altitude. Mais en ce qui concerne les trois retraits tangentiels, ce sont les deux stations A et B, sur "gabbros" qui ont donné des retraits tangentiels plus élevés que ceux donnés par les stations sur "péridotites" (C et D). En ce qui concerne ces mêmes retraits, nous n'avons trouvé aucune différence significative entre les 3 stations A, B et C et seule la station D, qui était exceptionnellement différente des trois autres stations, a donné des moyennes de retrait tangential, entre les trois états hygrométriques, inférieures à celles données par l'ensemble des autres.

...

III.4.6.3 - Caractéristiques mécaniques

Les valeurs significatives des tests (F) et (t), faites d'après l'analyse de variances et de comparaisons des moyennes, sont regroupées dans l'annexe n° 1, au sujet de laquelle nous pouvons faire les observations suivantes :

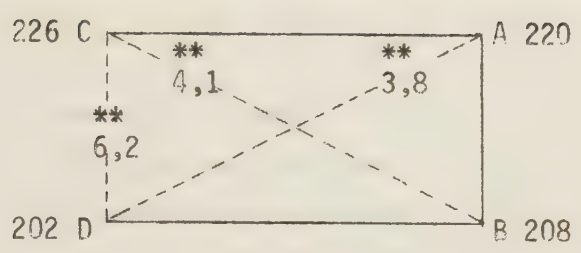
Pour 4 caractéristiques mécaniques sur 6, les quatre stations en cause sont significativement différentes, avec des valeurs (F) assez grandes mais moins élevées que celles données par l'infradensité, d'une part, et la largeur des cernes, d'autre part. Une hiérarchie des caractères, rangés suivant un ordre F décroissant, est présentée ici afin de mettre en évidence l'importance de chacune des caractéristiques mécaniques vis à vis des autres. Pour chaque caractère, un rectangle, représentant les résultats des comparaisons des moyennes entre stations, a été fait sur la figure n° 43.

a) D'après le test F, la charge maximale en compression de flanc est la caractéristique mécanique la plus susceptible de varier en fonction de l'ensemble des facteurs de la station*. Or, les charges données par les stations C et D sur péridotites sont très différentes les unes des autres entre 200 et 600 m d'altitude. Ce résultat indique que pour la charge en compression de flanc, il y a interaction entre roche et altitude puisqu'il n'y a pas d'effet altitude sur l'autre roche-mère (gabbros).

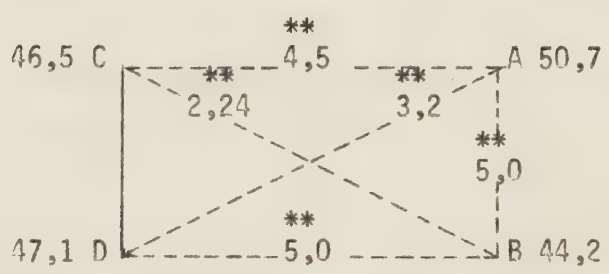
b) En ce qui concerne la charge de rupture en flexion statique, nous trouvons que chaque station est indépendante des autres. La seule liaison trouvée se situe entre les deux stations de "péridotites" (C et D), dans lesquelles la moyenne de la charge ne varie pas significativement. Cela nous montre donc que, sur les roches de "péridotites", l'action de l'altitude sur la charge est exclue et les deux stations donnent des bois ayant la même résistance en flexion statique. Par contre, les stations A et B sur "gabbros" sont très différentes en fonction de l'altitude. Nous pouvons alors dire, à propos de ce résultat, que le facteur altitude, isolé, a une influence significative sur la charge en flexion statique, ainsi que nous l'avons remarqué dans le paragraphe ; mais quand il est en relation avec plusieurs facteurs, comme celui de la roche-mère, son action sur cette caractéristique mécanique devient limitée. Pour justifier cela, nous trouvons ici que les stations A et C et les stations B et D, ...

* Mais le test t a montré que la charge n'avait pas significativement variée entre les stations A et B sur gabbros ni entre, d'une part A et C (situées en basse altitude) et, d'autre part, B et D (situées en haute altitude).

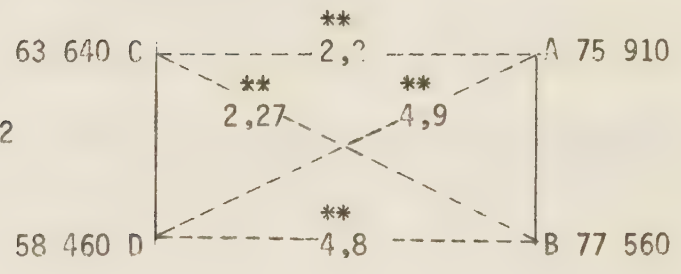
1 - Charge maximale
 en compression de flanc kg/cm²
 **
 (F = 14,0)



2 - Charge de rupture
 en flexion statique kg/cm²
 **
 (F = 8,5)



3 - Module d'élasticité
 en compression axiale kg/cm²
 **
 (F = 5,2)



4 - Charge de rupture
 en compression axiale kg/cm²
 **
 (F = 4,4)

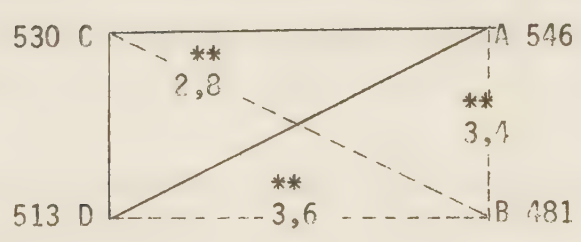


FIGURE n° 43

Rectangles représentant la comparaison des moyennes entre les stations pour les caractéristiques mécaniques significatives

situées sur les mêmes altitudes (200-250 m) (550-600 m), sont très significativement différentes.

Enfin, il faut noter que la station A a donné la moyenne de charge la plus élevée (suivie, par ordre décroissant, par les stations D, C et B). Ce classement des moyennes nous sert pratiquement pour savoir à quelle station il faut s'adresser pour chercher le bois ayant, pour telle ou telle utilisation, la meilleure qualité.

c) En ce qui concerne le module d'élasticité en compression axiale, nous remarquons qu'il varie seulement en fonction de la roche-mère, car les stations (A, B), sur péridotites, sont liées entre elles malgré la différence d'altitude, ainsi que les stations C et D, sur gabbros. Il est plus élevé sur les gabbros, surtout en haute altitude. En outre, nous avons déjà trouvé, dans le paragraphe III.4.32, que le facteur roche-mère avait fait varier significativement ce module. Donc, sur l'ensemble des facteurs de station, il est clair que le facteur roche agit considérablement.

d) En ce qui concerne la charge de rupture en compression axiale, nous trouvons que les trois stations A - B et C sont liées entre elles et que seule la station B est différente des autres, avec des rapports t très significatifs. La raison pour laquelle la station B se distingue du point de vue de la résistance en compression axiale, c'est que les arbres y sont relativement jeunes (voir le tableau n° 52). Donc, leur bois contient des quantités importantes de bois juvénile, celui-ci possédant des caractères spéciaux : cernes larges, trachéïdes courtes et résistances mécaniques faibles, surtout en flexion statique et en compression axiale.

Nous trouvons également que la moyenne la plus forte de ce caractère est donnée par la station A suivie, par ordre décroissant, par les stations C - D et B. La première fournit un bois très résistant à l'effort en flexion statique, d'une part, et en compression axiale, d'autre part, grâce à sa densité moyenne élevée et à son pourcentage de bois à forte densité. Ce bois convient donc au soutènement, dans la construction et les mines.

III.4.6.4 - Caractéristiques microdensitométriques

Les valeurs F et t sont regroupées dans l'annexe n° 1, au sujet de laquelle nous tirons les conclusions suivantes :

Toutes les caractéristiques microdensitométriques ont donné des variations significatives entre les stations, surtout les caractères exprimant les niveaux de densité où les différences sont plus importantes.

Nous présentons ainsi une hiérarchie des caractères, rangés selon un ordre (F) décroissant, avec des rectangles représentant les résultats de la même façon que précédemment. D'après la figure n° 44 des rectangles, nous pouvons tirer certains renseignements très importants :

a) En ce qui concerne le pourcentage de bois ayant une densité égale ou supérieure à 800 g/dm³, il semble que ce soit le caractère le plus susceptible de varier en fonction de la variation des stations car :

1°) la valeur F est relativement très élevée,

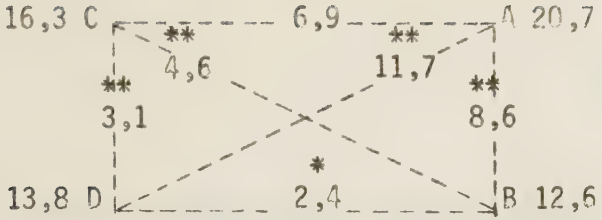
2°) chaque station est significativement différente de toutes les autres stations avec des valeurs t assez grandes.

La plus grande moyenne a été donnée par la station A qui avait également déjà donné la moyenne la plus élevée des charges de rupture en flexion statique et en compression axiale. On peut attribuer ce résultat au fait que cette station (A) a présenté la largeur moyenne des cernes la plus faible, ce qui a entraîné une élévation de la texture par réduction du bois initial. C'est une question d'approvisionnement en eau, pour deux raisons :

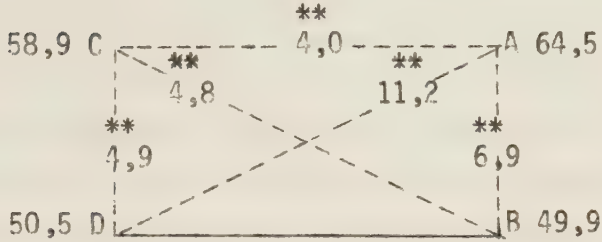
- d'une part, la station (A), située à basse altitude (200 m), reçoit normalement moins de pluie que les deux stations B et D, situées en haute altitude (550-600 m) ;

- d'autre part, elle reçoit la même quantité de pluie que la station C, à égale altitude, mais elle en perd beaucoup plus par l'évaporation du sol car son peuplement est moins dense et le sol y est très découvert ; donc finalement, les racines des arbres ont moins de chance de profiter de la pluie.

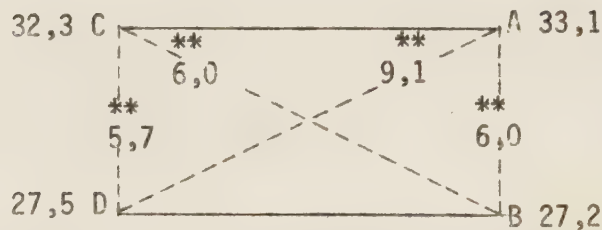
Pourcentage de bois
de densité > 800 g/dm3
**
(F = 28,6)



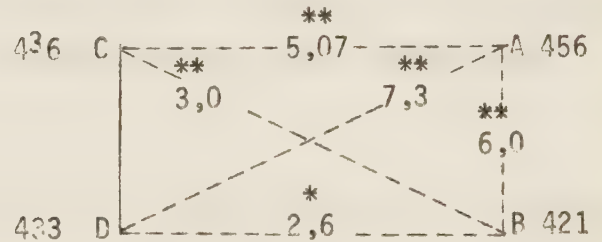
Pourcentage de bois
de densité > 500 g/dm3
**
(F = 24,5)



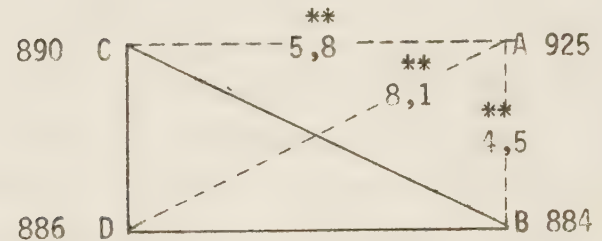
Pourcentage de bois
de densité > 650 g/dm3
**
(F = 22,8)



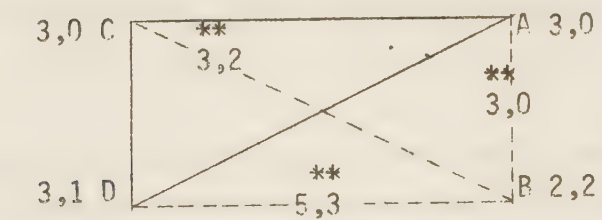
Densité minimale g/dm3
**
(F = 12,7)



Densité maximale g/dm3
**
(F = 10,0)



Pourcentage d'hétérogénéité
de la densité maximale
**
(F = 5,3)



Ecart entre la densité maximale et
la densité minimale (D. max. - D. min.)
*
(F = 2,9)

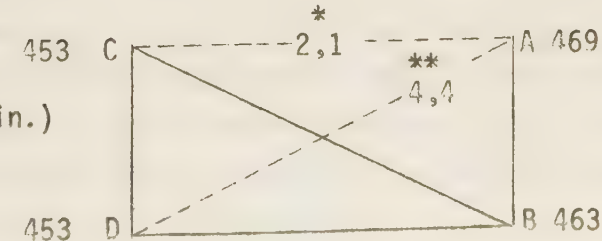


FIGURE n° 44

Rectangles représentant la comparaison des moyennes entre les stations pour les caractéristiques microdensitométriques significatives

b) En ce qui concerne le pourcentage de bois ayant une densité égale ou supérieure aux niveaux 500 et 650 g/dm³, nous trouvons presque les mêmes observations à faire qu'auparavant et elles peuvent être expliquées par les mêmes raisons. Mais, ce qui est différent, c'est que, pour un pourcentage de bois de densité > 500, une liaison existe entre les stations B et D, c'est-à-dire que ce critère densitométrique donne des résultats très semblables dans les peuplements de haute altitude, quelle que soit la roche-mère ou la composition du sol. Par contre, en basse altitude, les résultats varient d'une roche à l'autre. En ce qui concerne le pourcentage du bois ayant une densité > 650, on trouve deux liaisons : la première, entre A et C, la deuxième, entre B et D. Cela nous indique que, pour ce caractère, c'est uniquement le facteur altitude qui agit sur la différence entre les stations.

Si nous faisons un classement des moyennes par ordre décroissant, nous trouvons respectivement le même ordre A - C - D - B, pour des pourcentages de bois ayant une densité égale ou supérieure à 500 g/dm³ et 650 g/dm³.

c) En ce qui concerne la densité maximale et la densité minimale, les résultats sont différents l'un de l'autre. Au point de vue de la densité maximale, nous remarquons que la station A est la seule qui soit indépendante ; elle varie par rapport aux trois autres avec des valeurs *t* très significatives. Les trois stations B - C et D sont liées ensemble et ont donné des moyennes presque égales. On peut expliquer ce phénomène par le fait que la station A a un aspect spécial : le peuplement y est moins dense, le sol découvert y est moins humide et, par conséquent, plus dégradé que les autres. On peut donc dire que le facteur agissant sur ce caractère n'est ni l'altitude, ni la roche-mère mais les conditions spéciales de peuplement, telles que la densité de la forêt.

En ce qui concerne la densité minimale, les stations sont beaucoup plus différentes que dans le cas de la densité maximale. Nous avons uniquement trouvé une liaison entre C et D. Ceci montre que la densité minimale est indépendante du facteur altitude uniquement sur les roches du type périclites ; par contre, sur les gabbros, la différence est très significative entre deux altitudes. En outre, nous avons trouvé des différences significatives, d'une part, entre les stations A et C et, d'autre part, entre B et D, ce qui indique que la densité minimale dépend du facteur roche-mère ou sol.

Il faut noter, de plus, que la différence entre les deux roches est plus significative en basse altitude qu'en haute altitude. On peut attribuer cette dernière observation au fait que, en haute altitude, les conditions écologiques sont nettement plus favorables et que les différences de sol entraînent peu de variations du résultat, tandis qu'en basse altitude, les conditions sont plus difficiles, ce qui permet à la texture du sol de jouer un rôle plus déterminant sur la formation du bois initial.

Les moyennes générales de la densité maximale et de la densité minimale, données par les stations, sont classées dans le même ordre décroissant que les caractères précédents et la station A a donné les moyennes de densité maximale et minimale les plus élevées, suivie respectivement par C - D et B.

d) En ce qui concerne l'hétérogénéité du bois (différence entre la densité maximale et la densité minimale) et l'hétérogénéité de la densité maximale (différence entre les densités maximales, elles-mêmes en fonction du niveau 800 g/dm³ de densité), nous trouvons, dans le premier cas, que la variance due à la station est significativement différente de celle de l'erreur uniquement au seuil de 5 % ; donc, ce critère densitométrique est le moins influencé par les facteurs des stations. Deux différences significatives ont été trouvées entre les stations (A - C) et (A - D) :

- La première, celle qui nous intéresse le plus, indique qu'en basse altitude l'hétérogénéité du bois est plus élevée sur les roches gabbros que sur les péridotites.

- En ce qui concerne l'hétérogénéité de la densité maximale, la station B est indépendante : sa moyenne est significativement inférieure aux 3 autres. La raison pour laquelle la densité maximale est plus homogène dans la station B s'explique par le fait que l'hétérogénéité de la densité maximale est en liaison très étroite et significative avec la densité maximale et avec le pourcentage de bois de densité supérieure à 800 g/dm³. Or, nous avons déjà vu que, dans cette station, la moyenne de ces deux caractères était effectivement plus petite que dans les autres stations.

CONCLUSION

Les buts principaux de ce travail étaient les suivants :

Déterminer les propriétés physiques, mécaniques, densitométriques et papetières du bois de *Pinus brutia* provenant de diverses stations de la région de Baer-Bassit en Syrie, ceci étant la première étude technologique de ce bois en Syrie.

Mettre en évidence les relations existant, d'une part, entre différentes caractéristiques du bois : propriétés physiques et mécaniques, rendement papetier, mesurées sur des éprouvettes normalisées (essais destructifs) et, d'autre part, la largeur des cernes, l'infradensité et ses composantes, les caractères densitométriques mesurés sur les échantillons parallélépipédiques et sur des carottes de sondage (essais non destructifs).

Une partie importante de ce travail fut consacrée à l'étude de la variation des différentes caractéristiques du bois en fonction de certains facteurs du milieu.

Cette étude nous a permis généralement de recueillir beaucoup d'informations pratiques pouvant être utilisées pour la première fois par les aménagistes forestiers afin de mettre en place un programme d'aménagement applicable à l'échelon national ; ceci maintiendra la forêt de *Pinus brutia* en bon équilibre biologique avec les conditions écologiques et permettra de satisfaire, dans une certaine mesure, aux besoins du pays en ce qui concerne les matières ligneuses destinées aux diverses utilisations actuelles et futures.

En général, le bois de *Pinus brutia* en Syrie peut être classé, au point de vue de ses qualités physiques, parmi les bois mi-lourds, moyennement nerveux, et au point de vue de ses qualités mécaniques, parmi les bois supérieurs en compression axiale et moyens en flexion statique ; il est très souple quant à la "cote de raideur" (SALLENAVE P., 1955), mais son module d'élasticité est relativement faible ; au point de vue valeur papetière, il est plus adapté à la cuisson Kraft (au sulfate) ; son rendement en fibres est moyen à assez élevé ; les caractères physiques et mécaniques des papiers obtenus sont remarquables par la longueur de leurs fibres (une étude faite à l'Ecole Française de Papeterie de Grenoble sera publiée ultérieurement).

La qualité du bois de Pinus brutia est très voisine de celle de Pinus halepensis ; elle est également très semblable à celle de Pinus brutia poussant en Turquie et des Pins d'Alep d'Israël ; cependant la résistance en compression axiale est plus élevée pour Pinus brutia de Syrie que pour la même espèce dans les autres pays et que pour Pinus halepensis ; par contre, son module d'élasticité est plus petit (voir tableau ci-dessous).

	Infra- densité g/dm3	Charge de rupture en flexion statique kg/cm2	Charge de rupture en compression axiale kg/cm2	Module d'élasticité en flexion statique kg/cm2	Retrait axial	Retrait radial	Retrait tangen- tiel	Retrait volu- métrique
Pinus brutia (Syrie)	467	47,0	517	67 740	0,27	4,7	7,4	12,7
Pinus brutia (Turquie)	478	45,6	447		0,5	4,9	6,8	12,8
Pinus brutia (Israël)		49,3	427	109 197				
Pinus d'Alep (Liban)	426				0,34	4,9	6,9	
Pinus d'Alep (Israël)		50,9	464	110 300	0,13	4,4	7,2	11,7

Ce travail fait ressortir certains résultats importants, d'une part, sur le plan méthodologie de l'étude de la qualité du bois, d'autre part, sur le plan pratique en ce qui concerne les liaisons existant entre les caractéristiques et l'influence des facteurs naturels sur la qualité du bois de Pinus brutia en Syrie.

SUR LE PLAN METHODOLOGIE

L'application de la méthode non destructive (microdensitométrie), utilisant des caractéristiques faciles à mesurer sur des échantillons réduits ou sur des carottes de sondage prélevées à la tarière de Pressler, a donné des résultats satisfaisants pour l'étude des caractéristiques physiques et mécaniques du bois de Pinus brutia. Elles sont intervenues comme des variables explicatives et les caractéristiques microdensitométriques ont fourni des résultats encore meilleurs que les variables explicatives généralement utilisées jusqu'à présent, telles que la densité moyenne et la largeur des cernes. ...

Le tableau ci-dessous donne, pour les variables explicatives, le nombre de corrélations significatives trouvées :

Infradensité	Largeur des cernes	Composantes de la densité (microdensitométrique)		
		Densité maximale	Densité minimale	Niveaux de densité 500 650 et 800 g/dm ³
44	53	62	30	76

Nous pouvons constater que le pourcentage de bois ayant une densité égale ou supérieure à un seuil donné et la densité maximale annuelle sont deux critères microdensitométriques de premier ordre dans l'étude de la corrélation, avant les deux variables explicatives classiques : l'infradensité et la largeur des cernes, cette dernière ayant donné de meilleures corrélations que la précédente.

C'est une méthode d'analyse très encourageante qui peut être appliquée à l'étude de l'utilisation/^{future}d'arbres sur pied à partir des carottes de sondage non destructives, faciles à prélever et à mesurer.

Dans cette méthode, nous avons fait intervenir pour la première fois le critère "hétérogénéité de la densité maximale" qui tient compte de l'écart des densités maximales annuelles/^{par rapport}au niveau correspondant à 800 g/dm³ de la densité du bois ; les résultats des corrélations entre celle-ci et d'autres caractéristiques ont montré beaucoup de liaisons significatives chez *Pinus brutia*, par exemple avec la largeur des cernes et la charge maximale en compression de flanc (dureté) ; la liaison trouvée était seule parmi les caractéristiques mécaniques.

Dans la méthode d'étude de la résistance mécanique du bois, nous avons fait encore intervenir, pour la première fois, deux facteurs matériels importants dans les essais de flexion statique et de compression axiale : l'angle α_1 des cernes et l'angle α_2 du fil du bois ; ils agissent sur les deux essais mécaniques en faussant les résultats ; donc des corrections sont nécessaires, pour mieux rendre compte des conditions d'essais prévues par la Norme. Un tableau des équations de correction est donné dans le paragraphe des méthodes statistiques ; il peut servir à l'étude du bois de *Pinus brutia* afin de corriger les résultats d'essais en fonction des deux angles et de l'humidité, si les matériaux sont différents de ce qui est prévu par la Norme.

En outre, l'influence de l'angle α_1 des cernes sur la charge en compression de flanc a été étudiée également dans ce travail comme l'a fait KELLER (1968a) sur le Douglas de la forêt d'Orbey (Haut-Rhin).

En ce qui concerne l'étude papetière de microcuisson, ce travail a montré, pour la première fois, une détermination du rendement en pâte à l'aide des carottes de sondage prises sur un nombre d'individus qui, sans atteindre l'optimum souhaitable, représentent assez bien, et en tout cas mieux que dans toutes les études réalisées jusqu'ici, le massif forestier.

SUR LE PLAN PRATIQUE

Le présent travail a fait ressortir, grâce à l'étude statistique des corrélations, beaucoup de liaisons entre les caractéristiques du bois, dont certaines pour la première fois ; nous ne rappellerons ici que quelques liaisons retenues dans cette conclusion parce que nouvelles ou intéressantes :

1°) Une liaison positive très étroite entre le rendement en fibres, et, d'une part, l'hétérogénéité du bois (chiffrée quantitativement par les différences entre les densités maximales et minimales), et le retrait tangentiel (saturé - sec à l'air), d'autre part.

2°) Une liaison négative entre le rendement et, d'une part, la densité minimale, d'autre part, l'âge des arbres ; ces liaisons n'ont jamais été trouvées auparavant dans l'étude technologique du bois.

Ces liaisons trouvées sont extrêmement importantes en Syrie, pour une raison économique, d'une part, et pour l'aménagement de la forêt de Pinus brutia, d'autre part, car les bois jeunes, hétérogènes et anisotropes sont très mauvais pour certaines utilisations importantes du bois, mais ont un rendement papetier très satisfaisant.

3°) Une liaison négative très étroite entre la teneur en résine et la charge de rupture en compression axiale, d'une part, et le module d'élasticité, d'autre part ; c'est un renseignement très important pour choisir le bois de Pinus brutia comme matériau de construction ; du bois contenant beaucoup de résine ne convient pas à la construction, surtout quand la charge s'exerce en direction axiale.

4°) Une liaison entre le diamètre et l'excentricité nous montre que les gros Pinus brutia ont la moitié de leur bois très anisotrope ; la culture à longue révolution, pour obtenir du bois de qualité, présente des inconvénients dans certaines stations, à moins d'en rechercher la cause et d'y remédier.

5°) Une liaison entre la largeur des cernes et l'infradensité qui est tantôt positive, tantôt négative, suivant les stations ; c'est un résultat extrêmement important qui peut être pris en considération dans l'application des méthodes de sylviculture, d'aménagement et d'amélioration génétique de Pinus brutia en Syrie.

6°) Une liaison entre la pente du terrain et certaines caractéristiques du bois trouvée dans les deux stations de basse altitude peut indiquer que l'influence de la pente est plus grave dans les peuplements poussant dans des conditions relativement difficiles au point de vue de l'approvisionnement en eau, car la pente provoque la sécheresse du sol par le ruissellement de l'eau ; de plus, l'absence de sous-étage dans ces stations peut aggraver la situation à cause de l'évaporation très active ; cette liaison permet de comparer l'influence sur la qualité du bois de l'écologie des montagnes méditerranéennes de celle de l'écologie des montagnes en climat tempéré, où la pente peut être un facteur bénéfique dans quelques régions très humides où elle favorise le drainage.

De plus, l'étude de l'influence de la pente, étant positive au point de vue de la largeur des cernes, mais, par contre, négative au point de vue du retrait axial et de la densité minimale, confirme que la pente (contrairement à ce qui est connu pour d'autres essences) n'est pas responsable de la formation de bois anormal, tel que le bois de compression, chez Pinus brutia des régions de Baer-Bassit, en Syrie.

7°) La liaison entre les retraits et l'infradensité est de signe variable suivant les stations ; dans la station C, elle est négative pour les retraits volumétrique, radial et tangentiel ; par contre, elle est positive dans les autres stations.

8°) Une liaison entre l'excentricité du bois, provoquée par des facteurs météorologiques ou pathologiques, et certaines caractéristiques du bois, a révélé des résultats intéressants, d'une part, pour l'utilisation du bois à coeur excentré, d'autre part, dans le domaine de la physiologie des arbres forestiers.

...

SUR LE PLAN GENERAL DE L'ACTION DES FACTEURS ECOLOGIQUES, l'étude des comparaisons de moyennes donne l'explication des variations attribuées aux différents facteurs contrôlés, tels que l'orientation, l'altitude, la roche-mère ou le sol, la position interne et la station.

En ce qui concerne l'effet de l'orientation, l'analyse de la variance n'a montré aucune action de ce facteur sur les caractéristiques en question, mais au point de vue du rendement en fibres, l'effet d'interaction (orientation - roche-mère) est intervenu pour donner des variations significatives.

Pour ce qui est de l'effet des roches-mères, qui peut s'exprimer par les types de sols, il a fait apparaître au total 10 variations parmi lesquelles 7 dans les caractéristiques physiques (voir tableau ci-dessous), dont la largeur des cernes et le retrait axial (saturé - sec à l'air) étaient les caractéristiques physiques les plus susceptibles de varier.

Facteur Caractère	Physique	Mécanique	Microdensito- métrique	Total
Orientement	-	-	-	
Roche-mère	7	1	2	10
Altitude	11	3	5	19
Position interne (rayon)	3	3	3	9
Station	11	4	7	22

En ce qui concerne l'effet de l'altitude, il est nettement beaucoup plus prépondérant que le facteur roche ; il a fait apparaître 19 variations parmi lesquelles l'infradensité, la largeur des cernes, la charge en compression de flanc et les trois niveaux de densité sont les caractéristiques les plus influencées par ce facteur.

que l'on passe de 200 à 600 m, l'accroissement des arbres devient plus vigoureux, donnant un bois à cernes très larges, moins dense et moins anisotrope mais à qualités mécaniques moindres à cause de la réduction très importante du pourcentage de bois final.

Nous avons expliqué ces variations par l'approvisionnement en eau auquel s'attache la vie des arbres, la sécheresse étant beaucoup plus sévère dans les pays méditerranéens orientaux que dans les pays occidentaux de climat tempéré où l'action de l'altitude par contre limite la croissance des arbres.

En ce qui concerne les effets de la station, nous les avons attribués à un certain nombre de facteurs que nous avons pu contrôler, tels que la roche-mère et l'altitude ; cependant, d'autres influences peuvent se manifester, notamment celle de l'hérédité qui peut expliquer une large part de la variabilité. L'action de la station sur les caractéristiques du bois est prépondérante et 22 variations ont été mises en évidence ; on peut d'ailleurs constater, d'après la comparaison des moyennes prises deux à deux, que chaque station est presque indépendante au point de vue de beaucoup de caractères comme la largeur des cernes, l'infradensité, les pourcentages de bois ayant une densité égale ou supérieure à plusieurs seuils et les charges maximales en compression de flanc et en flexion statique ; on doit donc faire appel à une sylviculture spéciale pour chaque station.

En ce qui concerne le facteur position interne, certaines caractéristiques varient en fonction de la situation par rapport à l'axe des arbres ; parmi elles, l'infradensité, la largeur des cernes, le pourcentage de bois ayant une densité égale ou supérieure à 800 g/dm³ et les charges de rupture en flexion statique et en compression axiale sont les plus susceptibles de varier ; en outre, il faut noter que la variation est plus brutale entre l'écorce et la position intermédiaire, qu'entre celle-ci et le coeur.

SUR LE PLAN SYLVICOLE ET UTILISATION DU BOIS DE PINUS BRUTIA

L'utilisation actuelle des productions de bois en Syrie est très limitée, surtout en ce qui concerne Pinus brutia ; mais certains projets ont été mis sur pied : l'industrie papetière utilisera beaucoup de matériaux ligneux, mais de préférence ceux donnant une meilleure satisfaction.

La différence entre les quatre stations étudiées, en ce qui concerne la qualité du bois, nécessite une sylviculture et un aménagement appropriés, en vue, d'une part, de l'orientation de l'utilisation du bois selon les débouchés disponibles et, d'autre part, l'amélioration de la qualité pour satisfaire certaines utilisations précieuses du bois.

Le bois de la station A, sur gabbros, en basse altitude, se signale par sa bonne résistance mécanique, une forte densité et un pourcentage de bois final relativement élevé. On peut y envisager une révolution moyenne ; cette station donnera alors du bois de charpente, de soutènement, de châssis, de caisses, etc.... En outre, le développement d'un sous-étage qui diminue l'évaporation du sol, encouragera la croissance des arbres et donnera un bois à cernes plus larges, qui est peut-être moins résistant en flexion statique ou en compression axiale, mais dont la densité moyenne s'accroît, étant donné la liaison positive entre la largeur des cernes et l'infradensité. Ceci augmentera la quantité de matières ligneuses sèches par hectare et par an ; la résistance du bois en compression de flanc permettra d'utiliser ce bois avec grand profit pour les traverses de chemin de fer.

Dans la station B, sur la même roche-mère que A, mais en haute altitude, les arbres atteignent, dans une période de temps assez courte, un diamètre moyen assez grand par rapport à leur âge, grâce à un accroissement rapide conduisant à des cernes très larges, et à un retrait relativement faible. Cela confirme l'action favorable de l'altitude sur l'accroissement des arbres, grâce à l'augmentation de l'humidité du sol.

On peut, dans cette station, traiter la forêt avec un révolution moyenne à longue pour obtenir du bois de déroulage, de sciage et d'emballage ; cette utilisation constitue un débouché très rentable en Syrie grâce aux possibilités d'exportation.

Il est très utile, pour des raisons écologiques, d'une part, et économiques, d'autre part, de garder le sous-étage de *Quercus cerris* afin de conserver le sol, d'améliorer l'humidité et de réaliser autant que possible un élagage naturel en vue de réduire le pourcentage de bois juvénile et les noeuds qui sont des anomalies très graves du bois pour de nombreuses utilisations précieuses ; de plus, le bois d'éclaircie, provenant de l'application d'un traitement quelconque dans la forêt, peut être utilisé dans l'industrie papetière.

Dans la station C, sur péridotites, en basse altitude, les caractéristiques du bois sont presque analogues à celles trouvées dans la station A. Les résultats des corrélations signalent une existence possible de bois de compression ; mais, d'après les liaisons positives entre l'excentricité (qui exprime plus ou moins le bois de compression) et certains caractères mécaniques, on peut négliger cet inconvénient de l'anisotropie du bois et l'utiliser sans risque dans le soutènement et la construction. Cette station, comme la station A, étant située en basse altitude, et de plus sur roches relativement dures et sèches, il est utile de développer le sous-étage qui facilite la croissance et, par conséquent, augmente en même temps la densité moyenne, étant donné la corrélation positive qui existe entre la largeur des cernes et l'infradensité. La production abondante de matières ligneuses sèches est un avantage pour l'industrie papetière.

La station D, sur péridotites, et située en haute altitude, est celle qui s'adapte le mieux au traitement à longue révolution, afin d'obtenir des bois convenant aux utilisations nobles, telles que le placage et la menuiserie fine ; les fûts sont très droits, bien cylindriques. Grâce, soit à un élagage naturel (par le sous-étage de Quercus cerris), soit à un élagage artificiel, on pourra y exploiter des arbres sans noeuds ayant un pourcentage de bois juvénile très réduit. De plus, on a trouvé que les bois relativement homogènes ont un retrait tangentiel minime, ce qui est très avantageux pour le sciage.

En conclusion, les résultats de ce travail peuvent constituer une source de renseignements techniques à l'usage, d'une part, des biologistes et des écologistes pour expliquer certains phénomènes physiologiques des arbres forestiers, et, d'autre part, des sylviculteurs et des aménagistes pour organiser des plans de sylviculture appropriés et des programmes d'aménagement convenables, afin d'obtenir de la forêt de Pinus brutia qu'elle devienne une forêt protectrice et productive de bois de bonne qualité technologique, acquérant, avec le temps, une importance économique.

A N N E X E

Caractères physiques	F	$\bar{X}_a$	$\bar{X}_b$	$\bar{X}_c$	$\bar{X}_d$
Infradensité (g/dm ³)	** 32,7	484	450	479	456
Largeur des cernes (mm)	** 45,0	238	406	279	262
% D'humidité restant	** 6,2	9,0	9,6	8,5	9,2
Retrait volumétrique (saturé - anhydre)	** 7,2	13,52	12,66	12,90	12,17
Retrait radial (saturé - sec à l'air)	** 10,7	2,94	2,41	2,69	2,52
Retrait radial (sec à l'air - anhydre)	** 7,4	2,20	1,88	2,06	2,03
Retrait radial (saturé - anhydre)	** 10,1	5,20	4,40	4,81	4,61
Retrait axial (saturé - sec à l'air)	** 11,8	0,17	0,11	0,26	0,19
Retrait tangentiel (saturé - sec à l'air)	** 5,6	4,78	4,77	4,66	4,33
Retrait tangentiel (sec à l'air - anhydre)	* 3,4	2,74	2,76	2,70	2,57
Retrait tangentiel (saturé - anhydre)	** 7,2	7,68	7,72	7,50	7,02

Tableau n° 1 (a)

Extrait de l'analyse de variance et comparaison des moyennes entre les stations A, B, C et D, pour les caractères physiques

$\bar{X}_a, \bar{X}_b, \bar{X}_c, \bar{X}_d$: moyennes des stations A, B, C, D.

Caractères physiques	T ($\bar{a}-\bar{b}$)	T ($\bar{a}-\bar{c}$)	T ($\bar{a}-\bar{d}$)	T ($\bar{b}-\bar{c}$)	T ($\bar{b}-\bar{d}$)	T ($\bar{c}-\bar{d}$)
Infra-densité (g/dm ³)	** 7,72	N S	** 10,17	** 7,54	** 2,59	** 6,14
Largeur des cernes (mm)	** 10,1	* 3,69	* 2,32	** 8,45	** 14,39	N S
d'humidité restant	N S	N S	* 2,03	** 3,54	N S	** 3,41
Retrait volumétrique (saturé - anhydre)	* 2,57	* 2,74	** 7,13	N S	N S	* 2,95
Retrait radial (saturé - sec à l'air)	** 5,21	** 3,80	** 7,06	** 3,06	N S	* 2,14
Retrait radial (sec à l'air - anhydre)	** 4,64	** 3,69	** 4,96	* 2,52	* 2,72	N S
Retrait radial (saturé - anhydre)	** 5,22	** 4,08	** 6,67	** 2,88	N S	N S
Retrait axial (saturé - sec à l'air)	* 2,03	** 5,29	N S	** 5,84	** 5,03	2,67
Retrait tangentiel (saturé - sec à l'air)	N S	N S	** 3,14	N S	** 3,60	** 2,88
Retrait tangentiel (sec à l'air - anhydre)	N S	N S	* 2,14	N S	** 2,95	* 2,23
Retrait tangentiel (saturé - anhydre)	N S	N S	** 3,37	N S	** 4,25	** 3,16

Tableau n° 1 (b)

T ($\bar{a}-\bar{b}$) (1-2)	T ($\bar{a}-\bar{c}$) (1-3)	T ($\bar{a}-\bar{d}$) (1-4)	T ($\bar{b}-\bar{c}$) (2-3)	T ($\bar{b}-\bar{d}$) (2-4)	T ($\bar{c}-\bar{d}$) (3-4)	Caractères microdensitométriques	F	$\bar{X}_a$	$\bar{X}_b$	$\bar{X}_c$	$\bar{X}_d$
** 4,55	** 5,80	** 8,09	N S	N S	N S	Densité maximale (g/dm3)	** 10,0	925	884	890	886
** 5,96	** 5,07	** 7,27	** 3,01	* 2,59	N S	Densité minimale (g/dm3)	** 12,7	456	421	436	433
** 6,94	* 3,99	** 11,19	** 4,82	N S	** 4,87	% de bois ayant une densité > 500 g/dm3	** 24,5	64,5	49,9	58,9	50,5
** 6,00	N S	** 9,10	** 5,95	N S	** 5,70	% de bois ayant une densité > 650 g/dm3	** 22,8	33,1	27,2	32,3	27,5
** 8,58	** 6,90	* 11,74	** 4,60	* 2,46	** 3,14	% de bois ayant une densité > 800 g/dm3	** 28,6	20,7	12,6	16,3	13,8
N S	* 2,12	** 4,42	N S	N S	N S	Ecart entre la densité maximale et la densité minimale	* 2,9	469	463	453	453
** 3,01	N S	N S	** 3,16	** 5,32	N S	% d'hétérogénéité de la densité maximale	** 5,3	3,0	2,2	3,0	3,1

Tableau n° 3

Extrait de l'analyse de variance et de comparaisons des moyennes
entre les quatre stations A, B, C et D, pour les caractères microdensitométriques

$\bar{a}$, $\bar{b}$, $\bar{c}$, $\bar{d}$: moyennes des stations A, B, C, D.

F : valeur du test F

T : valeur du test T

N S : non significatif

TABEAU D'EQUIVALENCES ENTRE LES CARACTERES ET LES INDICES

X ₁	âge des arbres
X ₂	hauteur des arbres
X ₃	diamètre des arbres
X ₄	pente de terrain
X ₅	versant
X ₆	hauteur du prélèvement
X ₇	excentricité
X ₈	largeur moyenne des cernes mesurée sur les carottes de sondage (L. C.)
X ₉	densité maximale annuelle mesurée sur les carottes de sondage
X ₁₀	densité minimale annuelle mesurée sur les carottes de sondage
X ₁₁	infradensité mesurée sur les carottes de sondage (ID.)
X ₁₂	pourcentage de bois ayant une densité > 500 g/dm ³ , mesuré sur les carottes de sondage
X ₁₃	pourcentage de bois ayant une densité > 650 g/dm ³ , mesuré sur les carottes de sondage
X ₁₄	pourcentage de bois ayant une densité > 800 g/dm ³ , mesuré sur les carottes de sondage
X ₁₅	nombre de cas où la densité minimale est < 500 g/dm ³ , mesurée sur les carottes de sondage
X ₁₆	nombre de cas où la densité maximale est < 800 g/dm ³ , mesurée sur les carottes de sondage
X ₁₇	pourcentage de résine mesuré sur les carottes de sondage
X ₁₈	écart entre la densité maximale et la densité minimale, mesuré sur les carottes de sondage
X ₁₉	pourcentage du rendement en fibres mesuré sur les carottes de sondage
X ₂₀	infradensité mesurée sur les échantillons parallélépipédiques
X ₂₁	largeur moyenne des cernes mesurée sur les échantillons parallélépipédiques
X ₂₂	pourcentage d'humidité restant dans les échantillons parallélépipédiques
X ₂₃	retrait volumétrique entre les états saturé et sec à l'air, à 15 % d'humidité
X ₂₄	retrait volumétrique entre les états sec à l'air et anhydre, à 15 % d'humidité
X ₂₅	retrait volumétrique entre les états saturé et anhydre, à 15 % d'humidité
X ₂₆	retrait radial entre les états saturé et sec à l'air
X ₂₇	retrait radial entre les états sec à l'air et anhydre
X ₂₈	retrait radial entre les états saturé et anhydre
X ₂₉	retrait axial entre les états saturé et sec à l'air
X ₃₀	retrait axial entre les états sec à l'air et anhydre
X ₃₁	retrait axial entre les états saturé et anhydre
X ₃₂	retrait tangentiel entre les états saturé et sec à l'air
X ₃₃	retrait tangentiel entre les états sec à l'air et anhydre
X ₃₄	retrait tangentiel entre les états saturé et anhydre

- X₃₅ densité maximale annuelle mesurée sur les échantillons parallélépipédiques
- X₃₆ densité minimale annuelle mesurée sur les échantillons parallélépipédiques
- X₃₇ pourcentage de bois ayant une densité >500 g/dm³, mesuré sur les échantillons parallélépipédiques
- X₃₈ pourcentage de bois ayant une densité >650 g/dm³, mesuré sur les échantillons parallélépipédiques
- X₃₉ pourcentage de bois ayant une densité >800 g/dm³, mesuré sur les échantillons parallélépipédiques
- X₄₀ pourcentage de l'hétérogénéité des densités maximales, mesuré sur les échantillons parallélépipédiques
- X₄₁ charge de rupture en flexion statique
- X₄₂ charge de rupture en compression axiale
- X₄₃ charge de rupture en compression de flanc
- X₄₄ module d'élasticité en flexion statique
- X₄₅ module d'élasticité en compression axiale
- X₄₆ flèche correspondant à la rupture en flexion statique
- X₄₇ écart entre la densité maximale et la densité minimale, mesuré sur les échantillons parallélépipédiques.

° ° °
° ° °

BIBLIOGRAPHIE

ASSOCIATION FRANCAISE DE NORMALISATION, 1942 - Caractéristiques physiques et mécaniques des bois, 51-007 à 013.

BARBER N. F. et MEYLAN B. A., 1964 - The anisotropic shrinkage of wood (a theoretical model). HOLZFORSCHUNG, V. 18, 5.

BECKER M., 1971 - Etude des relations sol-végétation, en conditions d'hydromorphie, dans une forêt de la plaine lorraine. Thèse de Doctorat d'Etat, Sciences Naturelles. Université de Nancy I

BERKEL A., 1957 - Kizilçam (Pinus brutia) da Teknolojik araştırmalar (Untersuchungen über die eigenschaften des brutischen kiefernholzes - Pinus brutia Ten.). Istanbul Universiteri, Orman. Fakültesi, Dergisi, 7 A (1), 22-68.

BROWN H. P., PANSIN A. J., FORSAITH C. C., 1949 - Textbook of wood Technology. First edition, V. 1, Mc GRAW-HILL BOOK COMPANY, I. N. C., New-York, 652 p.

CAMPREDON J., 1967 - Propriétés mécaniques du bois. Cours. Ecole Supérieure du Bois, Paris.

DECHAUFOUR Ph., 1960 - Précis de pédologie. MASSON et Cie, Paris VI

FIELDING J. M., 1967 - The influence of silvicultural practices on wood properties. International Review of Forestry Research, V. 2, 95-126.

IABLOKOFF A. Kh., 1954 - Variation de la forme, des dimensions et de la structure des parois des trachéides de l'épicéa (Picea exelsa Link.), en fonction de l'accroissement annuel. Extrait des comptes-rendus des séances de l'Académie des Sciences, T. 238, p. 1906-1908, Séance du 10 Mai.

IABLOKOFF A. Kh., 1963 - L'épicéa, influence des facteurs écologiques, sur les propriétés mécaniques des bois. Société d'Edition d'Enseignement Supérieur, Paris V.

JACQUIOT C., 1955 - Atlas d'anatomie des bois des conifères. Centre Technique du Bois, Paris. Institut National du Bois, Fonds Forestier National.

JANIN G., 1972a - Microcuissons papetières. La Papeterie, n° 3.

- JANIN G., 1972b - Le diagramme polaire différentiel de rendements.
Station de Recherches sur la Qualité des Bois du C. N. R. F.
(I. N. R. A.), Nancy.
- JANIN G., RAHME A., 1972 - Etude de la variabilité des rendements en fibres
sur *Pinus brutia* Ten. Station de Recherches sur la Qualité des Bois
du C. N. R. F. (I. N. R. A.), Nancy.
- KELLER R., 1968a - Des caractéristiques nouvelles pour l'étude des propriétés
mécaniques des bois : Les composantes de la densité. *Ann. sci.
forest.*, 25 (4), 237-249.
- KELLER R., 1968b - L'élagage artificiel de branches vivantes sur résineux.
R. F. F. n° 7-8, 458-472.
- KELLER R., 1972 - Propriétés mécaniques du bois et composantes de la
densité. Station de Recherches sur la Qualité des Bois du C. N. R. F.
(I. N. R. A.), Document n° 4.
- KOLLMANN F. F. P. et WILFRED A. côté Jr., 1968 - Principles of wood science
and Technology, I (Solid wood). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg,
New-York, p. 45.
- KRAMER P. J., 1964 - The role of water in wood formation. The formation of
wood in forest trees, Academic Press, New-York.
- LENZ O., 1964 - Le bois des conifères de l'étage du châtaignier au TESSIN.
Mémoires de l'Institut Suisse de Recherches Forestières, V. 40,
Fasc. 5.
- MARIAUX A., 1958 - Le retrait du bois et ses constituants chimiques
(Recherche de corrélations). C. T. F. T., Extrait de la revue
HOLZFORSCHUNG, V. 12, n° 2.
- NAHAL I., 1960 - La végétation forestière naturelle dans le nord-ouest de
la Syrie. *R. F. F.* n° 2, 90-101.
- NAHAL I., 1962a - Contribution à l'étude de la végétation dans le Baer-
Bassit et le Djebel Alaouite de Syrie. *Webbia*, V. XVI, n° 2, 447-
641, Florence (Italie).
- NAHAL I., 1962b - Le Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.), étude taxonomique,
phytogéographique, écologique et sylvicole. *Ann. sci. forest.* 19
(4), 473-685.
- NAHAL I., 1965 - La base des sciences forestières. Cours de 4ème année à
la Faculté d'Agronomie, Université d'Alep, Syrie.
- NAHAL I., 1966 - La géologie. Cours de 1ère année à la Faculté d'Agronomie,
Université d'Alep, Syrie.
- NAHAL I., 1969 - Sols et végétation dans les montagnes côtières de Syrie.
Sciences du sol, 1, 85-96.

- OHTA S., 1972 - Studies on mechanical properties of juvenile wood, especially of Sugi-wood (*Cryptomeria japonica* D. Don.), and Hinoki-wood (*Chamaecyparis obtusa* Seib. et Zucc.). Reprinted from the Bulletin of the KYUSHU University Forests, n° 40.
- PAPAMIKAÏL PIERRE M., 1962 - Recherches sur les propriétés physiques et mécaniques du bois de Sapin de CEPHALONIE (*Abies cephalonica* Loud.) de la forêt du TAYGETE.
- PARSA P. D., 1970 - Contribution à l'étude de la qualité du bois de *Fagus orientalis* de trois stations de la forêt de l'ELBOURZ au moyen d'essais classiques sur éprouvettes normalisées et d'analyses densitométriques de radiographies. Thèse de Docteur-Ingénieur, présentée à la Faculté des Sciences de Nancy.
- POLGE H., 1963a - Contribution à l'étude de la qualité du bois des principales essences résineuses exotiques utilisées dans les reboisements français. Ann. de E. N. E. F. et de la Station de Recherches et Expériences, T. 20, F. 3.
- POLGE H., 1963b - L'analyse densitométrique de clichés radiographiques. Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts et de la Station de Recherches et Expériences, T. XX, F. 4.
- POLGE H., 1964a - Le bois juvénile des conifères. R. F. F. n° 6, 474-505.
- POLGE H., 1964b - Délimitation de l'aubier et du bois de coeur par analyse densitométrique de clichés radiographiques. Ann. sci. forest., 21 (4), 606-623.
- POLGE H., 1965 - Quelques observations à propos de l'élagage des branches vivantes. R. F. F. n° 11, 717-733.
- POLGE H., 1966 - Etablissement des courbes de variation de la densité du bois par exploration densitométrique de radiographies d'échantillons prélevés à la tarière sur des arbres vivants. Applications dans les domaines technologique et physiologique. Thèse Docteur ès-sciences, Faculté des Sciences de Nancy, Ann. sci. forest., 23 (1).
- POLGE H., ILLY G., 1967 - Observation sur l'anisotropie du Pin maritime des Landes. Ann. sci. forest., 24 (3), 205-231.
- POLGE H., ILLY G., 1968 - Héritabilité de la densité du bois et corrélations avec la croissance étudiées à l'aide de tests non destructifs sur plants de Pins maritimes de quatre ans. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt A. M.. *Silvae Genetica* 17, Heft 5-6, 157-200, Sept.
- POLGE H., KELLER R., 1968 - Influence de l'approvisionnement en eau sur la structure interne des accroissements annuels (Expérience d'irrigation sur Pin sylvestre). Ann. sci. forest., 25 (3), 125-133.
- POLGE H., 1969 - Vers la radiographie quantitative. Kodak-Pathé - Division Rayons X - 3ème trimestre, n° 137.
- POLGE H., KELLER R., 1969 - La xylochronologie, perfectionnement logique de la dendrochronologie. Ann. sci. forest., 26 (2), 225-256.

- POLGE H., KELLER R., 1970 - Rapport de mission de consultants en Tunisie.
F. A. O.
- POLGE H., 1971a - Le "message" des arbres. La Recherche n° 11, V. 2,
331-338.
- POLGE H., 1971b - Perfectionnements récents de l'analyse densitométrique
du bois. Note de recherches n° 10, Département d'exploitation et
utilisation des bois. Université Laval, Quebec.
- POULIGNIER J., 1942 - Contribution à l'étude de l'élasticité du bois.
Publications scientifiques et techniques du Secrétariat d'Etat à
l'Aviation, n° 179.
- SAMUEL J. RECORD, 1914 - The mechanical properties of wood. JOHN WILEY and
SONS, INC., New-York, p. 165.
- SCHWARTZ D., 1963 - Méthode statistique à l'usage des médecins et des bio-
logistes. Editions médicales Flammarion, p. 296.
- SERRE F., LÜCK H. B., PONS A., 1966 - Premières recherches sur les relations
entre les variations des anneaux ligneux chez *Pinus halepensis* Mill.
et les variations annuelles du climat. ŒCOL Planta, Gauthier-Villars,
T. 1, 117-136.
- VENET J., 1958 - Etude de la résistance mécanique des bois de mine en fonc-
tion des facteurs de la production forestière. Thèse de Docteur-
Ingénieur présentée à la Faculté des Sciences de Nancy.
- VENET J., 1963a - Etudes de qualité de dix échantillonnages de bois
d'essences diverses provenant de Corse. Ann.de E. N. E. F. et de la
Station de Recherches et Expériences, . 20, F. 2.
- VENET J., 1963b - Propriétés physiques, mécaniques et technologiques des
bois. Cours de technologie, E. N. E. F., Nancy.
- VESSEREAU A., 1960 - Méthodes statiques en biologie et en agronomie. T. 2.
Baillièrre et Fils Editeurs - Paris, p. 538.
- ZAHNER R., 1963 - Internal moisture stress an wood formation in conifers.
Forest Products Journal n° 6, V. 13.

NOM DE L'ETUDIANT : RAHME Adib

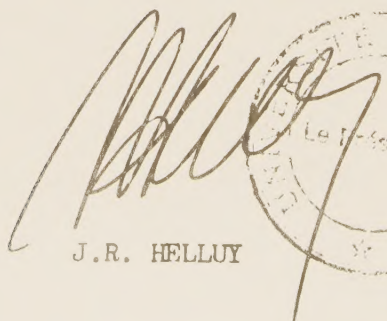
Nature de la thèse : DOCTEUR INGENIEUR

Vu, Approuvé

et permis d'imprimer

NANCY, le 30 Novembre 1972

Le Président du Conseil de l'Université de NANCY I


J.R. HELLUY

